



Les colorations du bois et leur prévention

Accent mis sur le bleuissement

FPInnovations réunit Feri, Forintek, Paprican et le Centre canadien sur la fibre de bois de Ressources naturelles Canada pour créer le plus important institut de recherche forestier à but non lucratif du monde.

FPInnovations vise l'optimisation de la chaîne de valeur du secteur forestier. Il tire avantage des attributs de la fibre du Canada et développe de nouveaux produits et débouchés dans un objectif de développement durable. L'objectif? Être le chef de file. Par l'innovation. Renforcer la compétitivité mondiale du secteur forestier canadien par la recherche, le transfert des connaissances et la mise en œuvre.

FPInnovations - Division Forintek fournit des solutions novatrices, de judicieux conseils scientifiques, du soutien technique direct et des études économiques et de marché pertinentes. Il crée des solutions pour le bois – de la forêt au marché.

©2008, FPInnovations^{MC}

Tous droits réservés

Aucune partie du présent document ne peut être reproduite, publiée, enregistrée dans une banque de données ou transmise sous forme électronique, mécanique, par photocopie, par enregistrement ou sous quelque autre forme que ce soit, qu'il s'agisse ou non d'une traduction, sans le consentement préalable de FPInnovations – Division Forintek, sauf en ce qui concerne tout membre en règle de Forintek, qui est autorisé à reproduire tout ou partie du présent document pour ses propres besoins mais non à des fins de vente, location ou autre entreprise commerciale, et seulement si Forintek est identifié de façon très visible comme source du document ou de l'extrait du document, et seulement dans la mesure où et aussi longtemps que le membre en question demeure en règle.

Le présent document vise à fournir une information juste et faisant autorité, mais il ne prétend pas tenir lieu d'avis professionnel. Pour obtenir un tel avis, il est possible de consulter un expert professionnel compétent.

Remerciements

*Cette publication a été possible grâce au financement de :
Ressources naturelles Canada - Service canadien des forêts.*



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

Publication spéciale SP-50F

ISSN 1917-3539

Région de l'Ouest

2665 East Mall
Vancouver, BC
V6T 1W5
Tél. : 604 224-3221
Télec. : 604 222-5690

Région de l'Est

319, rue Franquet
Québec, QC
G1P 4R4
Tél. : 418 659-2647
Télec. : 418 659-2922

Résumé

Il n'est pas rare de trouver des produits ligneux qui n'ont pas la couleur naturelle du bois. Ces colorations apparaissent tout au long de la chaîne de transformation, et peuvent avoir une incidence sur la valeur du bois et soulever des questions de la part des utilisateurs et des producteurs. On sépare généralement les colorations d'origine microbienne de celles d'origine non microbienne, mais certaines colorations sont complexes et font intervenir des facteurs biotiques et abiotiques. Le présent document étudie la terminologie ainsi que les méthodes possibles pour y remédier et les éviter. On ne sait pas toujours les prévenir; pour certains types de coloration, des méthodes peuvent s'avérer plus faisables que d'autres, et dans d'autres cas, il faut adopter une méthode intégrée. Les colorations d'origine microbienne sont plus fréquentes et parmi elles, celles causées par des champignons responsables du bleuissement dominant, surtout chez les résineux. Puisqu'elle a fait l'objet de nombreuses études, la présente brochure étudie la prévention du bleuissement de façon approfondie.

Clé de diagnostic de la coloration du bois

Nous avons prévu créer une clé de diagnostic simple permettant d'identifier les types de colorations à l'aide d'une loupe, de réactifs chimiques simples et des photos présentées dans ce livre. Cette clé s'est avérée trop complexe et peu pratique pour que le grand public puisse l'utiliser, mais les lignes directrices de ce court document peuvent aider au moment de poser un diagnostic. L'industrie les connaissant bien, les colorations les plus courantes telles que le bleuissement, la tache de baguette et la tache brune de la pruche du Canada sont généralement faciles à diagnostiquer, surtout si l'on connaît les essences et l'origine du bois. Pour les autres types de coloration, comme le bleuissement de surface, les moisissures, les taches bactériennes et de levures noires, les dépôts minéraux, les colorations métalliques ou enzymatiques, il faut un œil expert et parfois un accès à la microscopie ou à d'autres outils pour pouvoir les identifier.

Les colorations fongiques peuvent s'accompagner d'une croissance pelucheuse ou poudreuse du champignon à la surface si le bois est humide ou dans un milieu humide. Elles peuvent être blanches (habituellement des caries), noires (souvent des champignons responsables du bleuissement) ou de plusieurs couleurs (habituellement des moisissures). Comme l'on trouve souvent les caries dans le bois de cœur, elles ne sont généralement pas évidentes avant que le bois ne soit endommagé. Le bleuissement apparaît généralement dans l'aubier et la plupart du temps chez les résineux, surtout chez les pins. On trouve également les moisissures en majorité sur l'aubier des résineux et des feuillus, dans toute une gamme de couleurs (elles comprennent des tons noirs semblables à ceux du bleuissement). Malheureusement, les salissures de surface sont variables et peuvent ressembler aux champignons responsables du bleuissement ou à des moisissures foncées. Bien que les champignons responsables du bleuissement, les moisissures et la salissure se ressemblent à l'œil nu, on peut souvent les différencier au moyen d'une loupe; cependant, il n'est souvent pas possible de confirmer le diagnostic sans un grossissement plus important.

Le sciage du bois peut parfois faire apparaître des colorations en profondeur dans le bois, qui sont plus difficiles à diagnostiquer. Elles peuvent être d'origine fongique, bactérienne ou non microbienne. Les feuillus sont davantage sujets aux colorations d'origine non microbienne, que l'on trouve parfois uniquement sur ce type de bois. À titre d'information pour les personnes qui ne les connaissent pas bien, les colorations non microbiennes sont difficiles à identifier et, jusqu'à ce que de meilleures clés ne soient conçues, faire correspondre la coloration en question avec des images ou le texte de la présente publication ou d'une autre publication constitue le meilleur moyen de les diagnostiquer. La tache de tannate de fer pourrait être la plus facile à détecter et à confirmer par l'action blanchissante de l'acide phosphorique (voir page 11) si la tache n'est pas trop intense.

Table des matières

Résumé	1
Clé de diagnostic de la coloration du bois	1
Définition et types de coloration du bois	3
Colorations d'origine non microbienne	4
Tache brune de surface	5
Tache brune de la pruche du Canada	6
Tache brune du sapin gracieux	7
Tache d'extrémité des billes	8
Colorations enzymatiques	9
Colorations intérieures grises, roses ou brunes	10
Coloration métallique	11
Coloration minérale	12
Tache de baguette	13
Bois de réaction	14
Marques de compression	14
Tache d'eau	15
Tache due aux intempéries	15
Colorations d'origine microbienne	16
Bleuissement	17
Bleuissement inévitable	19
Protection chimique des billes contre le bleuissement	20
Prévention chimique de la croissance des champignons	
dans le bois d'œuvre	20
Meilleures pratiques d'entreposage du bois d'œuvre	21
Transformation rapide des billes	23
Meilleures pratiques d'entreposage des billes	24
Entreposage sous la neige ou le gel	25
Séchage des billes	26
Entreposage dans une atmosphère moins riche en oxygène	26
Entreposage sous l'eau	27
Entreposage dans une atmosphère enrichie en CO ₂	28
Prévention et atténuation des dommages mécaniques	29
Protection contre les insectes vecteurs	30
Réduction des nutriments fongiques au moyen du séchage biologique	31
Protection biologique	33
Rectification du bleuissement par blanchiment	35
Coloration fongique brune	36
Tache en service	37
Coloration liée à la moisissure	38
Coloration liée aux caries	40
Coloration bactérienne	41
Colorations inhabituelles	42
Traînées vertes chez le Douglas taxifolié	42
Tache noire du bois de cœur du cèdre jaune	43
Colorations fongiques inhabituelles sur les bardages	
de cèdre suivant le motif des colombages	44
Exemple inhabituel de bois altéré par les intempéries	44
Tache de résine	45
Remerciements	46
Bibliographie	46



Modification superficielle ou profonde de la couleur normale de l'aubier.

Quel est l'agent responsable de cette coloration : un champignon, de la saleté ou un dépôt chimique?

Une loupe avec grossissement 10X peut en donner une idée, mais un œil expert est souvent nécessaire.

Définition et types de coloration du bois

La terminologie de la coloration du bois peut être ambiguë. La *coloration* ou *coloration du bois* se définit comme une **modification de la couleur, en surface ou non, donnant au bois une couleur atypique**. Elle a souvent, mais pas toujours, une incidence sur la valeur du bois. On parle souvent de *taches*¹ pour parler de *coloration*. Certaines colorations ont fait l'objet d'études approfondies et, dans certains cas, elles peuvent être évitées; dans d'autres, les connaissances sur les causes et la prévention de la coloration restent insuffisantes (Scheffer et Lindgren, 1940). On trouve des colorations aussi bien dans l'aubier que dans le bois de cœur. Elles peuvent également survenir à n'importe quelle étape de la chaîne de transformation du bois, dans les arbres sur pied, les billes vertes, le bois d'œuvre vert ou séché au séchoir et sur les produits ligneux en service. Elles peuvent se former à une étape (mais passer inaperçues) et apparaître à une autre étape de la transformation du bois, ou apparaître à l'étape où elles se sont formées. On peut diviser les colorations du bois en deux grands groupes, selon leur cause et leur nature. On préfère les termes **coloration d'origine microbienne** et **coloration d'origine non microbienne** aux termes *coloration biologique* et *coloration non biologique*, moins précis. Comme son nom l'indique, la coloration d'origine microbienne, soit celle ayant les plus grandes répercussions économiques, est causée par des microorganismes, notamment par les champignons responsables du bleuissement, les moisissures, les caries et les bactéries. Parmi les colorations d'origine microbienne, celle due aux champignons responsables du bleuissement est la plus courante et a fait l'objet de nombreuses recherches. Fréquente sur les résineux, on peut aussi la trouver sur les feuillus.

La coloration d'origine non microbienne apparaît généralement dans des conditions particulières, et bien qu'on la trouve plus souvent sur des feuillus, elle existe également sur des résineux. Ce type de coloration peut être mécanique (des marques de brûlures, de la saleté, etc.), chimique, biochimique ou photochimique, mais peut également faire intervenir des facteurs à la fois chimiques et microbiens, comme c'est le cas de la tache brune de la pruche du Canada (Kreber, 1995).

¹ Dans ce livre, nous continuerons à utiliser le terme tache pour parler de coloration dans les cas où le terme est bien établi, par exemple, lorsqu'il s'agit du bleuissement.

Colorations d'origine non microbienne

La coloration d'origine non microbienne est souvent appelée coloration chimique ou enzymatique. Kitchens et Amburgey (2007) séparent les colorations d'origine non microbienne en deux catégories : les colorations enzymatiques et les colorations non enzymatiques. La principale différence est que la coloration enzymatique ne se trouve que dans l'aubier puisqu'elle est associée à des cellules vivantes; la coloration non enzymatique a plusieurs causes qui n'impliquent pas d'enzymes. On trouve généralement davantage de colorations d'origine non microbienne dans les produits manufacturés que dans les billes, mais les signes avant-coureurs de tache semblent souvent se développer dans les tissus vivants de l'arbre ou dans les tissus vivants ou mourants de la bille. Les colorations d'origine non microbienne de l'arbre sur pied ou des billes sont visibles lorsque les billes sont sciées en bois d'œuvre. La principale option de protection est de réduire la durée d'entreposage. Certaines de ces colorations se forment dans le bois d'œuvre, par exemple pendant le séchage au séchoir, et apparaissent lorsque celui-ci est raboté. Excepté en ce qui a trait à son apparence, le bois touché par une coloration d'origine non microbienne possède normalement les mêmes propriétés que le bois non coloré. Les colorations d'origine non microbienne ne sont pas aussi bien comprises que celles d'origine microbienne malgré leur fréquence d'apparition. Certaines, comme celles qui se forment pendant le séchage au séchoir, sont relativement bien documentées et des solutions y ont été proposées (Kreber *et coll.*, 1999, Kreber *et coll.*, 1998). D'autres colorations peuvent être contrecarrées dans certaines conditions par des pratiques de fumigation ou d'application de contrainte au bois afin de tuer les tissus vivants produisant des signes avant-coureurs du processus de coloration (Kitchens et Amburgey, 2007). On recommande les techniques de séchage qui évitent un séchage initial lent pour les bois clairs dont les anomalies non dépréciatives de surface sont plus prononcées; cependant, on rabote souvent le bois après l'avoir séché au séchoir, ce qui a tendance à éliminer les colorations de surface.

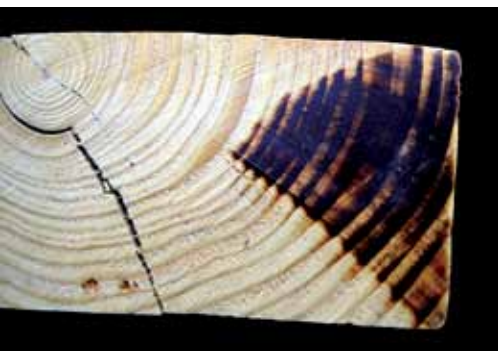
Généralement, les colorations d'origine non microbienne se produisent lorsque des produits chimiques naturels du bois réagissent à l'air, normalement en s'oxydant, ce qui forme des polymères plus foncés. On les trouve souvent dans le bois présentant une teneur en humidité de plus de 40 % (sur la base du poids anhydre). La modification des colorations d'origine non microbienne et non enzymatique est liée aux dépôts ou à des réactions aux métaux ou aux minéraux. Elles peuvent apparaître aussi bien dans l'aubier que dans le bois de cœur. Les colorations chimiques peuvent présenter des dépôts marron clair à marron foncé dans les cellules de rayons et du parenchyme et parfois dans les éléments de vaisseaux. Ces dépôts peuvent aussi bien être de petits corps bruns globulaires que des dépôts marron informes pouvant s'étendre complètement dans tous les éléments de vaisseaux (Campbell, 1959). On peut parfois les différencier des colorations biologiques en les faisant réagir à une solution d'acide oxalique saturé, qui blanchit certaines colorations non biologiques, notamment les taches de tannate de fer.



Tache de séchage sur la pruche occidentale.



Tache de séchage sur la pruche occidentale. La zone plus claire est éliminée par rabotage pour montrer la couleur naturelle du bois.



Brûlure mécanique d'une ébouteuse.

Tache brune de surface

Tache de séchage, brûlure mécanique, roussissement, tache de café (coffee stain)

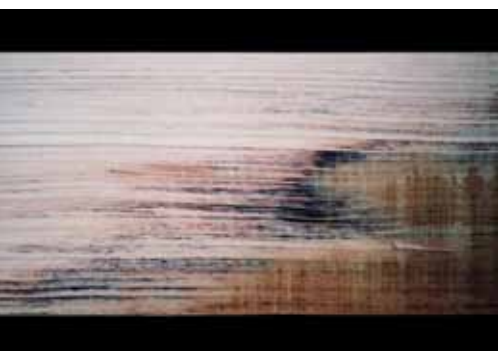
On appelle généralement tache de séchage la légère carbonisation du bois due à une température de séchoir trop élevée, et brûlure mécanique la brûlure qui résulte de la friction qui se produit par contact avec les machines telles que la raboteuse. Ces taches présentent un brunissement très foncé ou une carbonisation à proprement parler (de couleur noire) causée par des températures excessivement élevées. Le bois semble roussi. Ces taches apparaissent aussi bien dans l'aubier que dans le bois de cœur, sur plusieurs essences. Le terme tache de séchage sert généralement de synonyme au terme tache brune (*de café*), plus fréquente chez le pin (Hulme et Thomas, 1975) et qui se forme probablement au stade de bille ou de bois d'œuvre vert. Les taches brunes du pin deviennent visibles pendant ou après le séchage à l'air libre ou au séchoir. Cette coloration est probablement due au mouvement des produits d'extraction et de l'eau libre vers la surface, suivi de leur concentration et de leur polymérisation. Elle présente des tons chocolat ou marron foncé. La couleur peut également être plus profonde dans l'aubier et peut prendre la forme de plaques ou de bandes, ou bien suivre un motif plus uniforme.

PRÉVENTION ET RECTIFICATION

Le réglage de l'équipement (la raboteuse, p. ex.) visant à empêcher les brûlures mécaniques et la modification du processus de séchage au séchoir, souvent par essai et erreur, sont des méthodes couramment utilisées pour réduire les taches brunes de surface. Il est recommandé de faire l'entreposage du bois d'œuvre avec des baguettes sèches peu après le sciage pour optimiser le séchage à l'air, de minimiser le temps d'entreposage pendant les mois chauds et de procéder rapidement à un séchage au séchoir. Par exemple, les procédures d'entreposage se sont avérées très importantes pour le bois vert : l'entreposage serré des paquets (par opposition à aéré) ou le mauvais positionnement des baguettes entre les rangs réduit la circulation de l'air et favorise l'apparition de taches brunes (Cech et Pfaff, 1980). Sécher le bois d'œuvre à une température de thermomètre sec initiale de 55°C (130°F) (jusqu'à 30 % de teneur en humidité ou au point de saturation des fibres) puis inférieure à 100°C (212°F) pour les pins verts tout en utilisant des teneurs en humidité faibles est une méthode ayant obtenu un certain succès (Moore et coll., 1990). On a utilisé des méthodes chimiques de prévention des taches brunes de séchoir du pin (Hulme et Thomas, 1975), mais elles ne semblent pas être utilisées commercialement.



Tache brune sur les extrémités de carrés verts de pruche occidentale.



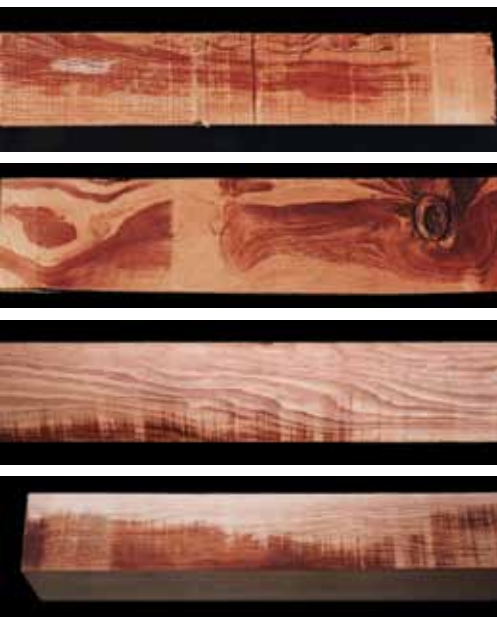
Les taches zébrées (photo du haut) sont parfois visibles à la surface. On les trouve plus fréquemment sous la surface; et on peut les voir par les manques au rabotage (photo du bas).

Tache brune de la pruche du Canada

Oxydation ou tache de tanin

Kreber et Byrne (1994) ont étudié minutieusement les mécanismes des différentes colorations de la pruche occidentale (*Tsuga heterophylla*). La tache brune caractéristique de la pruche apparaît sous différentes formes : des taches brunes de surface qui peuvent apparaître dans les billes et le bois d'œuvre en train de sécher, surtout sur le fil d'extrémité; des *taches zébrées* brunes sous la surface se formant pendant le séchage au séchoir de l'aubier, et prédominantes dans le bois initial, ce qui lui confère un aspect rayé; des quantités plus petites de taches grises que l'on peut trouver en profondeur dans la bille (Kreber, 1995). Les extrémités des pièces vulnérables de bois d'œuvre de pruche verte peuvent être presque noires après avoir séché à l'air libre et le fer ou le manganèse foncent parfois le brunissement. Depuis que le séchage au séchoir de la pruche occidentale est devenu plus fréquent, la tache zébrée sous-surfacique représente un inconvénient économique particulièrement important puisqu'elle peut empêcher l'aubier de la pruche occidentale, généralement à grain clair, d'être vendu comme produit de bois d'apparence, sauf si la raboteuse est réglée de façon à ce que les pièces soient extrêmement épaisses. D'un point de vue macroscopique, l'apparence de la tache brune peut prendre plusieurs formes, mais sous le microscope, elle prend la même forme, celle de dépôts globulaires marron, principalement dans les trachéides longitudinales (Ellis et Avramidis, 1993).

Outre les noms susmentionnés, on appelle parfois la tache brune de la pruche « tache enzymatique », bien que le rôle des enzymes dans sa formation soit moins bien documenté que celui décrit dans la partie suivante concernant d'autres essences. Si la tache est bien évidente sur les produits de bois d'œuvre, elle semble résulter de signes avant-coureurs inconnus présents dans l'aubier de l'arbre ou de la bille. On pense que l'apparition de la tache est un processus complexe dont les causes, a-t-on avancé, comprennent une oxydation chimique et une réaction microbienne (Kreber, 1993; Kreber, 1994; Kreber et Byrne, 1994). On a suggéré que des composants particuliers de la sève, tels que la catéchine, étaient des signes avant-coureurs de cette tache (Barton et Gardner, 1966), mais les quantités de catéchine présentes dans l'aubier sont très faibles (Kreber, 1995). La tache brune de la pruche entraîne régulièrement des pertes économiques importantes dans la région Nord-Ouest Pacifique des États-Unis et au Canada.



Différents échantillons de tache brune de la pruche du Canada.

PRÉVENTION ET RECTIFICATION

On n'a pas encore trouvé de mesure de prévention de la tache brune de la pruche, surtout de la tache sous-surfacique qui apparaît pendant le séchage au séchoir. Raboter le bois d'œuvre sec peut éliminer la coloration brune, mais il faut parfois enlever jusqu'à 3 mm de bois sur chaque face pour réussir à l'éliminer, ce qui dépasse les objectifs de réglage des raboteuses pour le bois d'œuvre brut. Avramidis *et coll.* (1993) indiquent qu'un pré-étuvage du bois d'œuvre avant le séchage au séchoir peut atténuer la coloration, mais l'essai n'a pas été porté à l'échelle industrielle. Un traitement chimique au moyen de grandes quantités de solutions au sel d'ammonium quaternaire peut prévenir ce type de tache brune superficielle de la pruche sur les extrémités du bois d'œuvre vert (données Forintek non publiées). Les essais visant à déterminer si un entreposage prolongé des billes ou un entreposage sur terre sèche étaient plus efficaces qu'un entreposage en rivière (Kreber et Byrne, 1996; Byrne et Minchin, 2003) n'ont pas réussi à empêcher la formation des taches brunes de la pruche sur les pièces vulnérables.

Tache brune du sapin gracieux

La pruche occidentale est souvent vendue comme faisant partie du groupe pruche-sapin, et le sapin gracieux (*Abies amabilis*) est beaucoup moins vulnérable aux colorations. Le sapin gracieux présente parfois, sur des pièces de bois vulnérables, une coloration marron-noir intense qui apparaît au moment du séchage au séchoir. Le sapin gracieux étant vendu comme faisant partie du groupe pruche-sapin, on prend parfois cette coloration pour la tache brune de la pruche. Cette coloration a déjà fait l'objet d'une tentative d'explication : elle serait due à un stilbène (3,3'-diméthoxy-4,4'-dihydroxystilbène) associé à un long entreposage et à une décomposition bactérienne possible de la lignine (Barton et Smith, 1971). Cette coloration peut alors être de nature microbienne et liée au débitage du bois, ce qui n'est pas habituel pour les colorations du bois.

PRÉVENTION ET RECTIFICATION

Cette tache n'est pas fréquente et les méthodes de prévention restent inconnues. Un traitement rapide des billes peut réduire le problème si les signes avant-coureurs apparaissent pendant l'entreposage des billes, mais ce fait n'a pas été confirmé.



Tache d'extrémité des billes chez le bouleau de l'Est.



Tache d'extrémité des billes sur le bois d'œuvre de l'érable à sucre.

Tache d'extrémité des billes

Ce type de tache se forme dans les billes pendant leur entreposage lorsque la température et l'humidité de l'air sont propices (entreposage long dans un climat chaud). On le trouve souvent sur les billes de feuillus de l'Est du Canada et des États-Unis.

On peut également trouver des taches d'extrémité des billes sur des résineux comme la pruche occidentale, où se forment parfois des taches brunes.

PRÉVENTION ET RECTIFICATION

La seule méthode sûre et efficace pour empêcher cette coloration est de traiter les billes aussi rapidement que possible. Certaines études indiquent que tuer les tissus vivants des billes, par chaleur ou fumigation, par exemple, constitue un mécanisme de protection possible (Forsyth et Amburgey, 1992; étude interne de Forintek).



Grisonnement chez l'érable franc.



Oxydation de surface – bouleau.

Colorations enzymatiques

Ces colorations sont de type biologique et non microbien, et se trouvent principalement sur les essences de feuillus. L'aulne rouge (*Alnus rubra*) est un feuillu nord-américain vulnérable aux colorations enzymatiques, tant au stade du bois d'œuvre vert ou de la bille. On a suggéré que la réaction de la phénoloxydase enzymatique aux produits d'extraction du bois pourrait être la cause de la coloration rouge de surface des aulnes (Hrutfjord et Luthi, 1981; Terezawa *et coll.*, 1984). Certaines colorations non microbiennes, telles que le rougissement de surface de l'aulne rouge, proviennent des enzymes sécrétées par les tissus vivants (Kreber *et coll.*, 1994). Pour que cela se produise, les tissus doivent être encore vivants et les éléments précurseurs, exposés à l'air libre.

On trouve des colorations semblables dues à la production de composés polyphénoliques dans les cellules vivantes du chêne, du hêtre et de l'érable. Il n'est pas rare de voir une coloration grisâtre à brunâtre dans l'aubier de plusieurs essences de feuillus. L'origine exacte de cette tache grise est inconnue, mais on pense qu'elle résulte de réactions à médiation enzymatique dans les cellules du parenchyme. Cette coloration trouve généralement son origine dans l'interface bois de cœur-aubier et s'étend dans tout l'aubier. Généralement, la tache ne se remarque pas avant que le bois d'œuvre brut n'ait été séché à l'air libre et raboté (Forsyth et Amburgey, 1992).

PRÉVENTION ET RECTIFICATION

Tuer les tissus vivants des billes ou du bois d'œuvre, par chaleur ou fumigation, par exemple, constitue un mécanisme de protection possible (Kreber *et coll.*, 1994; Kitchens et Amburgey, 2007). L'aulne rouge sert principalement à des fins d'apparence et le rabotage de surface appliqué pendant la fabrication élimine généralement cette tache superficielle.

Un traitement par immersion du bois d'œuvre frais dans une solution de bisulfite de sodium à 5 % suivi d'un entreposage par diffusion a également été proposé (Forsyth et Amburgey, 1992). Les colorations enzymatiques ne peuvent être évitées par les formulations antitache disponibles dans le commerce. L'utilisation rapide des billes et le séchage rapide du bois d'œuvre minimisent les colorations enzymatiques.

On a également indiqué que l'application d'une contrainte mécanique au bois d'œuvre pouvait aider, mais cette pratique n'a pas été commercialisée (Kitchens et Amburgey, 2007).



Grisonnement intérieur du bois d'œuvre de l'érable.

Colorations intérieures grises, roses ou brunes

Ces taches trouvent leur origine dans l'aubier des billes de la plupart des feuillus, à la limite entre le bois de cœur et l'aubier, et apparaissent lorsque les billes sont coupées en bois d'œuvre. Elles sont fréquentes dans les billes qui ont été entreposées et semblent résulter de l'oxydation des produits d'extraction du bois pendant le séchage. Elles peuvent également se former dans les billes entreposées sous des gicleurs automatiques. On a indiqué que l'acide oxalique enlève la plupart de ces taches, ce qui les différencie des champignons responsables du bleuissement, qui leur ressemblent parfois. De mauvaises conditions de séchage dans un climat chaud et humide peuvent favoriser l'apparition de taches grises intérieures dans le bois d'œuvre vert (Moore *et coll.*, 1990). La tache se forme dans le bois d'œuvre lorsque la surface externe de la planche à l'état vert a séché en-deçà du point de saturation des fibres (environ 30 % de teneur en humidité) avant que les réactions chimiques d'oxydation n'aient été terminées, alors que la partie interne de la planche est encore majoritairement verte. On peut voir ce phénomène dans le bois d'œuvre empilé qui commence à sécher à l'air libre avant d'être passé au séchoir. Les taches brunes de séchage des pins blancs et des pins argentés peuvent prendre la forme de fines bandes de bois clair à la surface de la pièce ou se trouver à la limite entre le bois de cœur et l'aubier (Cartwright et Findlay, 1946).

PRÉVENTION ET RECTIFICATION

Il n'existe pas de méthode sûre et efficace pour éviter ces colorations. Le meilleur moyen de les contrer est d'utiliser les programmes appropriés de séchage au séchoir. Le traitement plus rapide des billes et le séchage plus rapide du bois d'œuvre peuvent également réduire certaines de ces colorations.



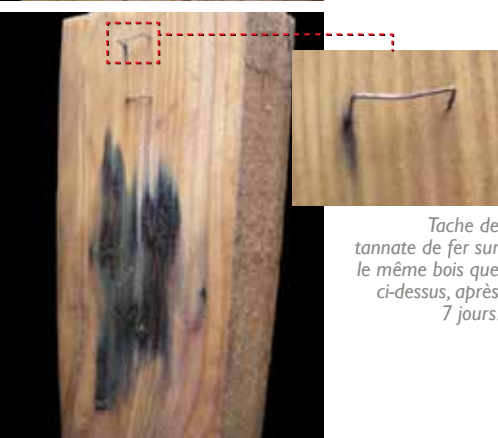
Tache de tannate de fer chez le
cèdre rouge de l'Ouest.



Tache de tannate de fer résultant de chaînes de
transfert. Remarque : la tache est superficielle
et peut être éliminée au moment du rabotage.



Création artificielle
de taches de
tannate de fer
par l'introduction
d'agrafes et de
limailles de fer dans
le bois de la pruche
du Canada.



Tache de
tannate de fer sur
le même bois que
ci-dessus, après
7 jours.

Coloration métallique - Tache de tannate de fer

Les taches de tannate de fer sont de loin la forme la plus courante de taches métalliques et résultent de la réaction entre le fer élémentaire et les composants chimiques phénoliques du bois pour former des tannates de fer noirs (pigment courant de l'encre noire). Ils apparaissent généralement autour des fils d'acier doux et des clous dans le bois devenu humide; les clous galvanisés ou inoxydables n'entraîneront pas de tache de tannate de fer. On trouve parfois cette coloration sur le bois d'œuvre commercial où le fer peut provenir de particules de laine de fer, de la limaille, de lubrifiants contenant du fer, des lamineuses ou des chaînes d'acier, ou des particules atmosphériques (p. ex., venant des freins ou de la friction des roues sur les rails des voitures de chemin de fer, entraînant ainsi la fameuse « *tache de voyage* »). Il s'agit surtout d'une coloration superficielle, mais elle peut s'enfoncer de quelques millimètres si les particules de fer sont assez grandes pour donner du fer soluble.

Pour établir le diagnostic d'une tache de tannate de fer, il faut appliquer un acide phosphorique (ou oxalique) dilué (à environ 3 %) sur la partie tachée. L'acide décompose le tannate de fer en sels ferreux incolores et la tache de fer est ainsi décolorée. L'acide oxalique ne fonctionne pas toujours. Il vaut mieux utiliser une méthode de spectrométrie de fluorescence X à dispersion d'énergie pour confirmer la présence de fer ou d'autres métaux (p. ex., le manganèse). Certains arbres ou billes peuvent absorber les métaux sans pour autant être tachés jusqu'à ce que ces métaux migrent à la surface sous forme aqueuse et soient exposés à certaines conditions de séchage. Chez la pruche occidentale, une tache chimique noire résultant de complexes de fer et de manganèse peut apparaître, surtout aux extrémités des billes ou du bois d'œuvre vert que l'on a laissé sécher en surface.

Comme nous l'avons déjà indiqué, on confond souvent cette tache foncée avec la tache brune de la pruche du Canada, qui peut foncer jusqu'à atteindre une couleur d'un noir intense en présence de grandes quantités de fer et de manganèse. La source des métaux est fondée sur des suppositions : ils peuvent déjà être présents dans l'arbre lorsqu'il est abattu ou être absorbés pendant l'entreposage en rivière, pratique courante sur la côte Ouest de l'Amérique du Nord avec les billes de pruche occidentale. La boue anaérobie au fond des cours d'eau contient beaucoup de fer et de manganèse libres. Les pruches occidentales peuvent puiser le fer et le manganèse solubilisés du sol, mais la variabilité inter et intra-arbre est très grande (Warren *et coll.*, 1952). Dans certaines espèces, le fer peut former plusieurs types de complexes avec les produits d'extraction. Chez le cèdre rouge de l'Ouest, le fer se complexera avec des thuyaplicines pour former une tache rouge insoluble dans l'eau qui ne peut être éliminée que par certains solvants organiques (Barton et MacDonald, 1971).

PRÉVENTION ET RECTIFICATION

Pour qu'une tache de tannate de fer apparaisse, il faut du fer, du bois et de l'eau. Si l'un de ces ingrédients est absent, elle ne se formera pas. Pour l'éviter, on peut : empêcher les dépôts ou minimiser le temps de contact des particules de fer avec le bois, couvrir le bois pendant son transport ou son entreposage afin d'éviter que la pluie n'entre en contact avec les attaches ou les agrafes en fer, utiliser des matériaux non ferreux pour attacher et protéger les coins du bois d'œuvre vert et minimiser l'exposition des billes à la boue anaérobie pendant l'entreposage en rivière. Lorsque des traitements chimiques aqueux sont utilisés pour protéger le bois, par exemple des taches de sève, il faut éviter la contamination de l'acier doux ou du fer. Dans les systèmes d'application par immersion ou vaporisation, il est possible d'ajouter un agent séquestrant du fer métallique ou un inhibiteur de tache de tannate de fer tel que l'acide phosphorique (Moore *et coll.*, 1990). Les taches de tannate de fer peuvent généralement être éliminées au moment du rabotage.

Coloration minérale

Les taches minérales prennent la forme d'une traînée profonde pouvant se former dans les arbres sur pied ou abattus sur des sols riches en minéraux. Visuellement, il peut s'agir de lignes ou de traînées foncées chez le chêne, de zones vertes à marron chez l'érable à sucre et de zones noires chez le sapin blanc d'Amérique (Cassens, 2006). L'origine de la coloration peut parfois être retracée jusqu'à une blessure dans l'arbre proche du sol ou dans les racines cassées encore en contact avec le sol. On pense que l'oxalate calcique est l'un des minéraux responsables de cette tache. Il a tendance à émousser les lames d'usinage (Knaebe, 2002).

PRÉVENTION ET RECTIFICATION

L'une des méthodes possibles pour prévenir cette tache semble être de sécher le bois rapidement, au moyen de ventilateurs ou de séchoirs. Les programmes de séchage ne devraient pas être trop agressifs pour éviter de gercer la surface (les taches minérales ont tendance à produire des gerces en surface au moment du séchage). Cependant, les programmes de séchage au séchoir n'ont pas vraiment d'incidence sur la réduction de la coloration minérale chez l'érable à sucre. Aucune autre protection efficace n'est connue.



Tache minérale sur le bois débité sur quartiers du Douglas taxifolié.



Tache minérale sur le bois débité sur dosse du Douglas taxifolié.



Tache de baguette.



La tache de baguette ressemble à une ombre.

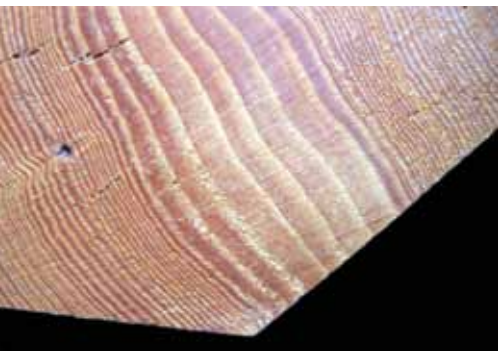
Tache de baguette

La tache de baguette est une zone colorée sous-surfacique allant de gris à marron, qui apparaît sur toute la largeur d'une pièce de bois d'œuvre exactement à l'endroit où une baguette était placée pendant le séchage. En général, la tache est peu ou n'est pas visible dans le bois d'œuvre brut; elle n'apparaît qu'après le rabotage (Wengert, 1998). Elle peut être plus particulièrement visible dans les bois clairs; c'est pourquoi il faut prendre un soin particulier pour les sécher. Moore *et coll.* (1990) différencient deux types de taches : le bois grisâtre à marron (pâle à modéré), surtout dans l'aubier, où le contact entre la baguette et le bois d'œuvre est important, et le bois coloré de façon plus légère directement sous la baguette, qui ressort par rapport au bois plus foncé situé autour. Pendant le séchage au séchoir, plus la température initiale est élevée, plus la coloration sera prononcée. La tache a été associée aux vieilles billes, probablement causée par les sécrétions des cellules au moment où elles meurent. La première cause semble être le séchage lent sous les baguettes lorsque le bois d'œuvre a encore une teneur en humidité de plus de 40 % environ. L'oxydation finale et la coloration peuvent finalement apparaître lorsque la teneur en humidité est inférieure à 15 % et le processus est accentué par des températures plus élevées pendant les dernières étapes du programme de séchage au séchoir (Wengert, 1998). La coloration fongique peut parfois être liée aux baguettes, l'eau emprisonnée entraînant une rétention d'humidité prolongée et une colonisation ultérieure par des microorganismes.

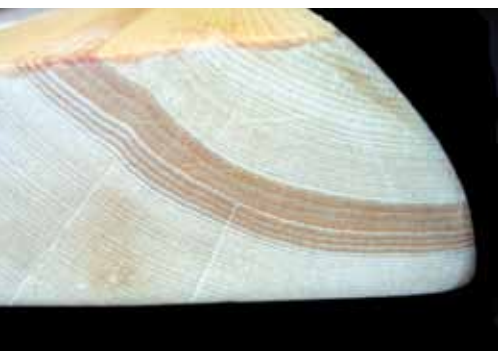
PRÉVENTION ET RECTIFICATION

Cette tache peut être plus profonde dans le bois que l'épaisseur des copeaux de rabotage; par conséquent, elle peut être encore plus visible après le rabotage. Éviter l'entreposage prolongé du bois dans un climat chaud constitue une méthode de prévention qui peut s'avérer efficace, mais pas toujours pratique. La tache de baguette peut être liée au séchage lent (p. ex., au séchage dans des conditions chaudes et humides). Des méthodes de séchage plus rapide ou visant à éviter des taux élevés d'humidité dans les séchoirs peuvent être efficaces (Cane, 1990).

On recommande des températures initiales basses du thermomètre sec pour minimiser le contraste de couleur entre la tache de baguette claire et le bois autour de celle-ci. Éviter les baguettes humides, les températures de séchoir élevées, et utiliser de bons programmes de séchage et de bonnes mesures de protection contribuent à éviter les taches de baguette. Une étude de Forintek (Tremblay, 2000) montre que le matériau utilisé pour fabriquer les baguettes (bois, plastique ou les deux) n'a pas d'incidence sur ce processus. Cependant, les baguettes profilées (par opposition aux baguettes carrées) se sont avérées très bénéfiques pour réduire les taches de baguette puisqu'elles améliorent la capacité de séchage sous les baguettes.



Bois de compression chez la pruche occidentale.



Bois de compression chez le cèdre jaune.



Marques de compression sur le bois d'œuvre de l'érable.



Bois de compression chez le cèdre jaune.

Bois de réaction

Rotholz

Le bois de compression des résineux et le bois de tension des feuillus sont des manifestations de croissance anormale du bois. On les trouve souvent dans les arbres poussant dans des conditions venteuses ou dans les arbres penchés. La pression exercée de côté sur les cellules du xylème donne un bois plus dense et plus foncé, avec une nuance rougeâtre attribuable à une modification de la morphologie des fibres ligneuses. Elles deviennent plus petites et les parois de leurs cellules sont plus épaisses; la démarcation entre le bois initial et le bois final est donc moins évidente et les cernes concernés sont souvent plus larges. Généralement, l'eau peut encore passer entre les fibres, mais les minéraux peuvent être emprisonnés, ce qui entraîne une coloration. Le bois de compression comprend également davantage de cellulose et de lignine que le bois normal (Kramer et Kozlowski, 1979). Ce bois rapetisse, se voile beaucoup et est plus fragile.

PRÉVENTION ET RECTIFICATION

Ce type de bois constitue une réaction physiologique de l'arbre et il n'existe aucune mesure de prévention.

Marques de compression

Plusieurs autres types de taches peuvent se former sur les feuillus, tels que les marques de compression. Ce type de tache est souvent lié à la manipulation des billes et du bois d'œuvre vert et apparaît dans les zones où de fortes pressions sont exercées localement, c'est-à-dire celles créées par les abatteuses et les rouleaux écorceurs (Chauret et Giroux, 1999; Clément *et coll.*, 2006).

PRÉVENTION ET RECTIFICATION

Les marques de compression peuvent être minimisées en évitant les fortes pressions sur les billes et le bois d'œuvre vert lors de la manipulation (en réglant ou en abaissant la pression du cylindre, en utilisant d'autres conceptions de rouleaux).



Tache d'eau sur une pièce de cèdre rouge de l'Ouest.



Tache d'eau sur une barrière de cèdre rouge de l'Ouest causée par le système de gicleur automatique, occasionnant le mouvement et le lessivage des produits d'extraction solubles.
Photo reproduite avec la permission de Les Jozsa.



Altération de planches de terrasse due aux intempéries.



Altération du cèdre jaune due aux intempéries.

Tache d'eau

Les taches d'eau colorent la surface de façon irrégulière en raison de l'eau qui dégoutte ou ruisselle sur le bois et qui y sèche par la suite. Ces taches se distinguent particulièrement sur les bois clairs. Elles prennent généralement des tons jaunes à marron ou noirs en raison des produits d'extraction ou des corps étrangers qui restent après évaporation. La région touchée est généralement entourée d'un anneau plus dense et foncé. Certaines essences possédant de fortes teneurs en produits d'extraction, telles que le bois de cœur du cèdre rouge de l'Ouest, sont particulièrement vulnérables aux taches d'eau qui foncent souvent au moment où les produits d'extraction solubles séchent et se polymérisent en marques d'eau marron, que l'on appelle souvent tache de thé ou de café (*tea or coffee stain*) (voir *Tache brune de surface*).

PRÉVENTION ET RECTIFICATION

On peut éviter le déplacement par l'eau des produits d'extraction solubles en minimisant le contact de l'eau avec le bois en service ou pendant le séchage. La tache est superficielle et peut être éliminée au moment du rabotage ou de la remise en état. Le bois d'extérieur en service peut être rendu étanche par l'application d'un enduit étanche.

Tache due aux intempéries

L'exposition extérieure au soleil ou à la pluie peut faire changer de couleur un bois non traité ou pas suffisamment protégé. Il foncera ou prendra d'abord une couleur jaune à cause de la lumière du soleil puis prendra finalement une couleur grise.

PRÉVENTION ET RECTIFICATION

On peut minimiser les taches dues aux intempéries en évitant que le bois ne passe de longues périodes exposées à la lumière du soleil et aux précipitations. Des inhibiteurs de lumière ultraviolette peuvent réduire les risques d'apparition de taches dues aux intempéries. Les recherches sont toujours en cours afin de créer des finitions claires qui conserveront l'apparence naturelle du bois pendant plusieurs années et éviteront ces colorations dues aux intempéries.

Colorations d'origine microbienne

Les billes et le bois d'œuvre humide sont vulnérables aux taches biologiques lorsqu'ils sont entreposés dans certaines conditions favorables à la croissance microbienne, qu'ils ne sont pas transformés assez rapidement ou qu'ils ne sont pas protégés. Les organismes responsables attaqueront plus probablement l'aubier que le bois de cœur puisqu'il est relativement riche en éléments nutritifs et ne contient généralement pas de phénoliques ni de produits d'extraction ligneux pouvant inhiber leur croissance. Bien que le bois coloré puisse contenir plusieurs types d'organismes, il faut mettre en évidence la cause prédominante des colorations. Par exemple, pour remédier au problème ou éviter qu'il ne se reproduise, il est important de dissocier le **bleuissement** de la **tache bactérienne** et de la **moisissure**. La terminologie est parfois déroutante. Par exemple, le terme « **tache de sève** » est souvent utilisé pour désigner la coloration d'origine microbienne de l'aubier, y compris les taches causées par les champignons responsables du bleuissement et par la moisissure. Afin d'éviter toute confusion terminologique, nous avons opté pour les termes présentés ici en fonction de la nature et de la biologie des organismes responsables, ainsi que de l'expérience pratique.



Bleuissement profond visible aux extrémités des billes.



Bleuissement important des extrémités de billes. Le champignon pousse sur la bille après quelques jours d'incubation dans un environnement chaud et humide.



Bille équarrie d'épinette bleue (en haut) avec bois de cœur intact (bas).



Vue au microscope de filaments fongiques à pigmentation foncée responsables du bleuissement dans le bois.
Photo reproduite avec la permission de James Drummond.



Le contreplaqué et les colombages bleuis sont acceptables en construction.

Bleuissement

Bleuissement de surface ou en profondeur

Le bleuissement est la tache biologique la plus courante. Le *bleuissement en profondeur* de l'aubier dans les zones tempérées est dû à la croissance de champignons dans l'aubier des billes. Ces champignons appartiennent généralement aux genres *Ceratocystis*, *Ophiostoma*, *Grosmannia*, *Leptographium* et *Sphaeropsis*, qui possèdent tous des spores visqueux s'attachant facilement aux arthropodes tels que les insectes. Les champignons sont transportés et dispersés par les insectes sur leurs nouveaux hôtes, où ils peuvent coloniser le bois possédant une forte teneur en humidité et des agents chimiques de défense inefficaces. Ces champignons sont des espèces colonisatrices pionnières et n'ont presque pas de concurrence d'autres organismes. Si les arbres sur pied sains et les billes ayant une écorce intacte sont à l'épreuve du bleuissement, on peut trouver, sur les billes dont l'écorce est endommagée, des taches s'étendant depuis la partie endommagée. Les champignons se transmettent mieux par les scolytes qui minent l'écorce et y apportent leur champignon. Les champignons responsables de taches peuvent grandir de deux centimètres de long par jour le long des trachéides et du parenchyme des résineux (Uzunovic et Webber, 1998). L'équipement mécanique, notamment les abatteuses, semble revêtir un rôle de premier plan dans la dissémination du bleuissement (Uzunovic *et coll.*, 2004). Dowding (1969) a également observé la diffusion des spores par les eaux pelliculaires.

Dans la section transversale de la bille, le bleuissement ressemble généralement à des traînées grises ou bleues, cunéiformes et permanentes, mais dans certains cas, la colonisation peut s'étendre à tout l'aubier. Il est visible dans le bois d'œuvre lorsque la bille est sciée, et ne peut être éliminé par le rabotage. Chez les résineux, la couleur est due à des filaments fongiques à pigmentation foncée (les hyphes) se développant surtout dans les cellules de rayon et, dans une moindre mesure, dans les trachéides. On trouve le bleuissement chez certains feuillus où les hyphes des champignons responsables à pigmentation foncée poussent surtout dans les vaisseaux longitudinaux (Campbell, 1959). Les hyphes des champignons responsables du bleuissement contiennent des dépôts de polymère noir mélanine dans les parois de leurs cellules, mais on ne remarque aucune diffusion du pigment en dehors des hyphes. Tout comme les billes, le bois d'œuvre vert empilé peut être vulnérable, dans un climat chaud, à l'intensification de la pénétration en profondeur des champignons responsables du bleuissement. Ces champignons peuvent provenir d'une contamination préalable de la bille ou d'une colonisation après-sciage. Cependant, l'aggravation du bleuissement dans le bois d'œuvre s'atténue rapidement lorsque le bois est séché à l'air libre. Si le champignon est mort pendant le vieillissement ou le séchage de la bille, le bleuissement ne s'étendra pas davantage pendant l'entreposage du bois d'œuvre.



Bleuissement de surface sur le bois d'œuvre.



Structures sporiques responsables du bleuissement de surface avec grossissement 3X.



Structures sporiques responsables du bleuissement de surface avec grossissement 20X.



Structures sporiques responsables du bleuissement de surface avec grossissement 200X.

Le *bleuissement de surface* est dû à certains membres du genre *Ophiostoma*, avec souvent des formes imparfaites de *Sporothrix* ou *Pesotum*. Ces champignons sont de nature saprophyte (c'est-à-dire qu'ils ne sont pas pathogènes pour les arbres vivants) et sont compétitifs sur bois plus sec mais qui demeure au-dessus du point de saturation des fibres. Ils ne s'enfoncent pas profondément et on les trouve souvent dans l'aubier du bois d'œuvre vert partiellement sec ou sur le bois d'œuvre complètement sec que l'on a réhumidifié. Cette coloration se forme après le sciage et sa propagation peut se faire par des insectes, des éclaboussures d'eau ou du matériel contaminé. La tache est due aux structures des spores à pigmentation foncée (noire ou marron foncé) qui se forment à la surface. Elle peut être éliminée au moment du rabotage. On la confond souvent avec de la moisissure et seul un œil expert peut distinguer ces deux types de tache.

Généralement, les champignons responsables du bleuissement (colonisation en profondeur et en surface) n'entraînent pas de modification importante des propriétés mécaniques du bois dans la mesure où ils utilisent des éléments nutritifs digestes comme les sucres, l'amidon et les triglycérides et ne peuvent digérer les composants de la paroi des cellules du bois (Fleet *et coll.*, 2001). En revanche, ils augmentent la perméabilité de l'aubier, ce qui facilite son traitement de préservation (Lindren et Scheffer, 1939). Quelques espèces de champignons, telles que *Botryosphaeria theobromae*, responsable du bleuissement chez les feuillus tropicaux, possèdent des enzymes pouvant attaquer la paroi des cellules ligneuses et entraîner des pertes de résistance importantes (Encinas et Daniel, 1995).

PRÉVENTION ET RECTIFICATION

Il est souvent possible d'éviter la formation d'un bleuissement dans les billes non tachées puisque la contamination, la croissance et le processus de formation de la tache prennent du temps. Les options pratiques de protection contre le bleuissement reposent sur les connaissances historiques ainsi que sur notre compréhension des organismes ravageurs et de leur biologie. Parmi elles, citons un traitement rapide, une protection chimique, un entreposage sous la neige ou le gel, un séchage des billes, un entreposage dans une atmosphère moins riche en oxygène (entreposage sous l'eau et dans des conditions de forte teneur en dioxyde de carbone (CO_2)), une réduction des dommages mécaniques, un contrôle des insectes vecteurs, et une réduction des nutriments nécessaires à la croissance fongique au moyen du séchage biologique ou d'une protection biologique. Ces options sont expliquées dans les pages suivantes. Enduire les extrémités des billes peut également empêcher le bleuissement, à condition que leur écorce soit intacte et qu'elles ne soient pas attaquées par des scolytes.



www.bcfestinformation.com

Bleuissement inévitable

Parfois, le bleuissement ne peut être évité parce qu'il est associé à une infestation des arbres sur pied par des insectes. Dans les régions touchées par des scolytes agressifs, tels que le dendroctone du pin ponderosa qui infeste actuellement la Colombie-Britannique et l'Alberta, le bleuissement s'est déjà formé dans les arbres avant qu'ils ne soient abattus. Le dendroctone est porteur de plusieurs espèces de champignons agressifs qui peuvent complètement bleuir l'aubier en un mois. La situation du pin du sud est semblable : il est souvent attaqué par le dendroctone méridional du pin. Ces colorations sont inévitables, à moins que le scolyte vecteur ne soit contrôlé, ce qui est difficile à réaliser à l'échelle d'un peuplement lorsque la population de scolytes est élevée et que des arbres hôtes lui convenant sont disponibles. Théoriquement, il est possible d'abattre et de transformer les arbres juste après une infestation (de stade vert) avant que le bleuissement ne se forme. Cependant, il est difficile de détecter, par simple vue aérienne, les peuplements infestés avant que le feuillage ne montre des signes de rougissement, moment où l'aubier est bleui et les scolytes adultes ont couvé. Cette méthode de protection contre le bleuissement n'est pas pratique si les régions infestées par les insectes sont vastes. Pour ralentir la dissémination du dendroctone en Alberta, on utilise la méthode de détection précoce d'une nouvelle infestation, qui consiste à effectuer des études de terrain et à abattre et brûler les arbres qui contiennent des insectes vivants. Le bleuissement des billes d'arbres infestés par des scolytes représente un problème de marketing et la sécheresse et le gauchissement des billes crée un défi en matière de transformation.

Arbres infestés par le dendroctone du pin ponderosa passant par les stades de couleur de feuillage vert, rouge et gris.

Le ravageur creuse sous l'écorce et apporte plusieurs champignons responsables du bleuissement pouvant rapidement coloniser l'aubier et entraîner un bleuissement.



Dendroctone du pin ponderosa (en haut) et système de galeries (à droite).



Champignons poussant dans des galeries (à gauche).





Billes protégées de façon chimique en Nouvelle-Zélande. Cette méthode ne peut être utilisée au Canada en raison de la réglementation en vigueur.



Traitement par immersion individuelle du bois d'œuvre. Cette technologie a désormais été remplacée par des systèmes d'immersion ou de vaporisation en continu, ou par des systèmes d'immersion en bassin.



Poste de vaporisation transversale pour l'application individuelle de produits de protection contre les taches de sève.

Protection chimique des billes contre le bleuissement

Dans les années 1950 et 1960, on a utilisé pendant une courte période du lindane (hexachlorocyclohexane) et du méthyl trithion pour contrôler le scolyte du bois des billes entreposées (Richmond, 1986). Le Canada, contrairement à d'autres pays, n'a pas toujours utilisé des pesticides chimiques pour traiter les billes fraîches afin d'éviter le bleuissement. À l'heure actuelle, aucun pesticide homologué n'est disponible à la vente pour les billes fraîches, que ce soit au Canada ou aux États-Unis. Les préoccupations environnementales et le processus d'homologation étant stricts pour les pesticides appliqués sur le terrain, il est peu probable que de nouveaux produits chimiques soient homologués à cette fin en Amérique du Nord. D'autres pays, comme la Nouvelle-Zélande, autorisent le traitement chimique. Bien que les billes de pin de Monterey soient très vulnérables au bleuissement, l'infrastructure routière en Nouvelle-Zélande autorise la récolte d'arbres en juste-à-temps avant le sciage lorsque le bois est vendu à l'échelle nationale. Les billes destinées à l'exportation sont souvent traitées chimiquement quelques jours après la récolte au terminal d'expédition, avant d'être chargées sur les bateaux.

Prévention chimique de la croissance des champignons dans le bois d'œuvre

La prévention chimique des taches de sève et des moisissures sur le bois d'œuvre s'effectue au moyen de traitements chimiques de surface qui empêchent le champignon d'avoir accès aux éléments nutritifs du bois. Les produits chimiques peuvent être appliqués sur le bois d'œuvre par vaporisation, par badigeonnage ou par immersion (individuelle ou en paquet). Byrne a entrepris une étude du contrôle chimique des taches de sève en 1998. Au Canada, les premiers produits chimiques utilisés pour contrôler les taches de sève des résineux de la côte ouest étaient des sels minéraux tels que le carbonate de sodium ou les sels de bicarbonate qui sont apparus dans les années 1920 (Eades, 1956). Ces produits chimiques n'étaient pas complètement efficaces, surtout après l'adoption de la pratique d'empilement plein du bois d'œuvre vert. Sur la base d'essais effectués dans les années 1930, le tétrachlorophénate de sodium a été lancé et utilisé jusqu'à la fin des années 1980. L'industrie canadienne a été la première à créer un code de bonne pratique pour l'application de chlorophénates (Konasewich et St. Quintin, 1994), surtout pour l'application par vaporisation en scierie. En 1988, d'autres formulations chimiques à champ d'efficacité plus étroit ont remplacé les chlorophénates et amélioré les formulations subséquentes.



Traitement par immersion de paquet plein du bois d'œuvre.

Il s'agit d'un système courant d'application des traitements chimiques de surface. Les réservoirs doivent être propres et ne pas contenir de débris.

Le bois à traiter doit aussi être propre et ne pas contenir de terre ni de sciure. Le réservoir doit être recouvert pour le protéger des intempéries et éviter la dilution due à la pluie. Les réservoirs métalliques en acier doux peuvent se corroder par des formulations acides, ce qui contribue à la formation de taches de tannate de fer sur le bois.

Pour les liquides corrosifs, le réservoir doit être construit en acier inoxydable ou protégé de la corrosion par un revêtement résistant. La concentration des produits chimiques dans le réservoir doit être contrôlée régulièrement et maintenue au bon taux. Le liquide doit toujours complètement recouvrir le paquet de bois d'œuvre immergé.

Aujourd'hui, les produits de protection contre les taches de sève reposent principalement sur un petit nombre d'ingrédients actifs : des triazols, des sels d'ammonium quaternaire et un iodocarbamate. Ils sont mélangés à des formulations, et également souvent à des mélanges en cuve sur le lieu de l'application, avec divers composants « non actifs » afin d'en améliorer l'efficacité et la rentabilité.

Les produits de protection contre les taches de sève sont utilisés en Colombie-Britannique et dans la région Nord-Ouest Pacifique des États-Unis pour le bois d'œuvre vert, mais la production est maintenant de plus en plus souvent séchée au séchoir. Les produits de protection sont principalement appliqués par des systèmes de vaporisation en continu ou par immersion dans les scieries. Dans l'Est du Canada, les produits de protection chimiques contre les taches de sève sont appliqués l'été sur une petite quantité du bois d'œuvre vert produit, surtout s'il est destiné à l'exportation vers l'Europe ou s'il est très vulnérable à la coloration, comme c'est le cas du pin blanc. Les produits chimiques sont également utilisés dans le Sud-Est des États-Unis, surtout sur le pin du sud, très vulnérable aux taches. Les produits utilisés pour protéger le bois contre les taches de sève doivent être homologués comme pesticides auprès de l'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire au Canada ou par la Environmental Protection Agency aux É.-U. Leur site Web respectif contient des listes des produits homologués. Pour être efficace, la protection chimique doit être appliquée sur le bois d'œuvre vert immédiatement après fabrication. Bien appliqués, ces produits sont efficaces. On attribue la non-efficacité occasionnelle de ces produits à une application inappropriée ou irrégulière ou à une large infestation fongique préexistante.

Meilleures pratiques d'entreposage du bois d'œuvre

Les taches de sève superficielles comme la moisissure peuvent se former rapidement sur le bois d'œuvre vert venant d'être scié. On définit le bois d'œuvre vert comme présentant une teneur en humidité de plus de 28 % du poids anhydre. Lorsque le séchage en surface est entravé et que les conditions sont chaudes et humides, un bleuissement ou de la moisissure peuvent être visibles à l'œil nu en quelques jours, mais normalement, ils prennent au moins une semaine à apparaître. Les options de protection contre la croissance des champignons sur le bois d'œuvre se limitent au séchage et au traitement chimique. Pour le bois d'œuvre attendant d'entrer dans un séchoir, promouvoir le séchage à l'air libre constitue la meilleure stratégie (McMillen et Wengert, 1978). Pour que le séchage à l'air donne les résultats escomptés, il faut permettre une circulation de



Moyens d'empêcher le bois d'œuvre sec de se réhumidifier par entreposage approprié (sous un abri ou correctement enveloppé).

l'air suffisante entre les rangs en plaçant des baguettes de bois sec d'environ un demi-pouce d'épaisseur et un demi-pouce de largeur (conditions optimales) et entreposer les piles dans un endroit aéré. Selon les meilleures pratiques, il faut placer des baguettes entre chaque rang sur toute la largeur de la pile, avec un espacement de moins de deux pieds, et les aligner verticalement par rapport aux rangées du dessous pour que le poids soit bien réparti, ce qui réduit la tendance au gauchissement. Pour éviter les gerces du bois d'œuvre, la première et la dernière baguette de chaque rangée doivent être aussi près de l'extrémité de la pile que possible. Le parc de séchage doit être prévu de manière à permettre une bonne circulation de l'air. Les vents forts et le temps sec et chaud favorisent le séchage; l'air immobile et humide (brouillard, pluie et forte humidité) encouragent la croissance des champignons. Des considérations comme l'exposition au soleil peuvent également être importantes; le sommet et la base des chargements doivent être protégés de la pluie et du soleil. Si la capacité de séchoir vient à manquer et que les conditions de séchage à l'air libre conviennent, il peut s'avérer une bonne stratégie d'utiliser les séchoirs pour abaisser la teneur en humidité initiale dans des conditions contrôlées pour ensuite terminer le séchage à l'air libre. Si la teneur en humidité souhaitée n'est pas obtenue par le séchage à l'air libre, il est possible de le terminer dans les séchoirs. Cette stratégie maximise la capacité du séchoir mais augmente l'inventaire et les coûts de manutention.

Les sites d'entreposage du bois d'œuvre doivent être propres, plats, secs et bien drainés et aérés. Entreposer des paquets de bois sur des sols végétalisés ou humides, dans des flaques ou près d'eaux stagnantes ouvre la porte à la moisissure, aux taches et aux problèmes de salissure. On préférera une surface de gravier ou de béton. Le bois d'œuvre doit être entreposé entre 6 à 8 pouces du sol : le bois sec en contact avec le sol absorbera l'eau. Assurez-vous que la zone ne comporte pas d'obstacles empêchant une bonne aération et conservant l'humidité de l'air, de débris ni de végétation pouvant héberger des insectes porteurs de champignons responsables du bleuissement.

Emballer le bois d'œuvre sec l'empêche de se réhumidifier. Les emballages sont composés de polyéthylène ou de matériaux composites de papier et polyéthylène souvent renforcés par des fibres pour leur donner de la résistance. Les emballages de polyéthylène intacts sont efficaces pour protéger le bois de l'humidité, mais peuvent emprisonner l'humidité à l'intérieur si le bois n'est pas séché correctement ou si l'emballage a été endommagé et qu'il laisse entrer l'humidité. Les paquets de bois d'œuvre doivent être emballés, les agrafes sur le côté du paquet et non sur le dessus. Lorsqu'un emballage est endommagé, par exemple par des chariots élévateurs à fourche, il faut le remplacer

ou bâcher le bois d'œuvre pour éviter les infiltrations d'eau pendant l'entreposage en extérieur.

Les bâches sont temporaires et se trouent facilement aux coins ou à d'autres points de contrainte. Il ne faut pas coincer les bâches sous les piles ni les serrer si elles ne sont pas complètement collées aux piles. Les piles de bois d'œuvre non emballées (qu'il s'agisse de bois vert ou de bois séché au séchoir) ne doivent pas être entreposées à l'extérieur pendant longtemps; elles pourraient y absorber de l'humidité venant de la pluie, de la neige ou des eaux de surface et souterraines. Pour limiter la croissance des champignons indésirables, il faut minimiser l'entreposage extérieur sur les sites de construction. Une gestion minutieuse de l'inventaire et une planification efficace des livraisons permettent souvent d'arriver à ce résultat. Les dates de production doivent servir à garantir la bonne rotation de l'inventaire (méthode du premier entré, premier sorti) dans toutes les voies de distribution des produits ligneux.

Tel que réalisé avec les billes, entreposer le bois d'œuvre vert dans l'eau ou l'arroser l'empêchera de sécher et le gardera vert et non infesté par des champignons puisque les organismes seront privés d'oxygène. Ceci est théoriquement faisable, mais rarement fait. Outre la difficulté que représente l'humidification de grandes surfaces, le temps de séchage du bois humidifié est plus long et augmente les coûts d'énergie.

Transformation rapide des billes

L'option la plus efficace et éprouvée de protection contre le bleuissement est de traiter les billes rapidement, surtout pendant les mois chauds, lorsqu'elles sont les plus vulnérables, ce qui peut signifier de 2 à 4 semaines après l'abattage lorsque les conditions favorisent la formation de taches. Les stratégies suivantes ont fonctionné pour certaines exploitations, mais requièrent des domaines forestiers adéquats et une bonne coordination entre les opérations forestières et l'usine :

- Pendant les périodes vulnérables, réduire les inventaires du parc à billes et en forêt, ce qui réduit le temps d'entreposage moyen avant transformation.
- Dès que possible, identifier les billes bleuies et infestées par des scolytes juste après l'infestation, et les récolter et transformer avant que la tache ne devienne importante.
- Transformer les billes de qualité élevée d'abord.
- Contrôler l'entreposage des billes pour garantir la mise en place de la méthode du premier entré, premier sorti.



Transformer le bois de 2 à 4 semaines après l'abattage garantit des billes non bleuies, surtout dans les périodes chaudes.



Grand parc de scierie/réduction en pâte comprenant 100 000 m³ de billes abattues en hiver attendant d'être transformées au printemps et en été.

Meilleures pratiques d'entreposage des billes

Les pratiques normales de l'industrie n'autorisent pas toujours la transformation rapide des billes, et il faut généralement les entreposer. La récolte et le transport des billes au Canada est un processus étroitement lié au climat et souvent concentré dans les périodes où le sol est gelé. Lorsque le sol dégèle ou est humide, la récolte et le transport ne sont pas possibles : les sites de récolte et les routes n'ont pas une capacité portante assez grande. Les gouvernements réglementent le transport selon les saisons afin de protéger les routes publiques et encouragent le transport en hiver. La récolte peut également être interrompue pour protéger les animaux migrateurs tels que le caribou des bois ou les oiseaux. Ces contraintes forcent les scieries à agrandir leur parc ou à augmenter leur stock de plate-formes durant l'hiver pour garantir une quantité suffisante de billes, afin de ne pas arrêter l'exploitation de la scierie. Ainsi, certaines scieries peuvent avoir jusqu'à 100 000 m³ de stock en parc lorsqu'arrive la période printemps-été-automne, période la plus vulnérable à la formation des taches. Dans ce cas, il faut envisager d'autres méthodes que celle de la transformation rapide des billes. L'aménagement du parc à billes doit être conçu de façon à faciliter la transformation selon la méthode du premier entré, premier sorti.

Les parcs d'entreposage des billes doivent être propres et ne pas contenir de débris pouvant abriter des insectes et devenir des sources d'inoculum pouvant infecter les billes non tachées. Certaines scieries ont mis en place des programmes de protection, tels que des pièges à phéromones et des billes pièges dans leurs parcs, pour réduire l'infestation des billes par les scolytes (point discuté à la page 30).

Forintek a mené une étude sur les meilleures pratiques d'entreposage dans l'Est du Canada pour comprendre l'influence des saisons, des types de billes et de la durée d'entreposage sur la formation de taches de sève dans les billes de pin gris (Yang et Beauregard, 2001). Chez les arbres abattus au printemps, les taches de sève ne sont pas apparues de façon significative avant quatre semaines d'entreposage. La sévérité des taches augmentait proportionnellement à la durée d'entreposage après ce temps. Les billes à pleine longueur étaient plus tachées que celles tronçonnées, toutes les billes étant toutefois gravement tachées après trois mois d'entreposage d'été. Les billes abattues en septembre ont été entreposées tout l'hiver sans être très tachées, mais la formation de taches était rapide après le mois d'avril de l'année suivante. La croissance des taches était plus rapide sur les billes écorcées que sur celles dont l'écorce était intacte.



Utilisation de neige artificielle en Europe du Nord pour les courtes périodes d'entreposage des billes.



Au Canada, l'entreposage sous la neige implique de couvrir la couche de neige avec une couche de sciure pendant une période pouvant s'étirer jusqu'à un an.

Entreposage sous la neige ou le gel

Dans les pays à climat continental connaissant des périodes dans l'année où les températures passent en-deçà du point de congélation, les billes peuvent subir un entreposage frigorifique sans danger puisque l'activité des insectes et des champignons s'arrête et que les taches ne peuvent ni se former ni se développer lorsque la température est basse. Dans certaines régions, les billes restent gelées pendant plusieurs mois. Parfois, les billes du dessous d'une grande pile peuvent rester gelées en été, même lorsque la température ambiante dépasse les 10°C. Certaines entreprises de l'industrie forestière ont étudié la faisabilité de l'extension de l'entreposage frigorifique pendant les mois d'été par l'ajout de neige sur les billes entreposées.

Dans une étude conjointe sur l'entreposage sous la neige entreprise par l'Institut canadien de recherches en génie forestier (Feric) et Forintek, les piles ont été couvertes d'un mètre de neige compacte puis de 30 à 50 cm de sciure pour servir d'isolant (Nader, 2003; Frigon, 2006). Cette méthode a bien fonctionné puisque la température à l'intérieur des piles était de -10°C en février et encore de -1°C en août. La température des piles témoins correspondait à la température ambiante. Après sept mois d'entreposage sous la neige, les billes étaient bien protégées, et l'infestation fongique touchait moins de 1 % du bois total. Cette méthode évitait également des pertes d'humidité et empêchait la formation de caries et de gerces dans les billes. Le coût a été estimé à environ 0,85 \$/m³ pour une pile de 20 000 m³ composée de huit rangées de billes de 4,5 m de haut. L'étude suivait la formation des taches selon la méthode d'entreposage. Pour la plate-forme témoin de bouleaux entreposée à l'air, 177 pmp pour 1 000 pmp étaient tachés, comparés à 29 pmp pour un entreposage sous l'eau et à 2 pmp pour un entreposage sous la neige. Les taches occupaient 75 % de la surface du bois d'œuvre si les billes étaient précédemment entreposées sans protection, alors que si elles étaient entreposées sous l'eau ou sous la neige, la surface maximale tachée était de seulement 5 % (données non publiées de Forintek).

En fonction de nos connaissances, si elle est appliquée correctement (couverture totale de neige pendant toute la durée d'entreposage), cette méthode pourrait protéger le bois contre le bleuissement de façon efficace tant que la température à l'intérieur des piles reste sous la barre des 5°C. Une fois dégelées, les billes doivent être transformées rapidement pour éviter une détérioration rapide pendant les chauds mois d'été. Pendant les périodes froides, lorsqu'il n'y a pas de neige, il est possible d'utiliser des canons à neige. Nous ne connaissons aucune étude se penchant sur la production de neige artificielle visant à protéger des taches,



On peut voir apparaître des gerces indésirables sur les billes si celles-ci sont séchées rapidement.

mais des études ont porté sur cette option pour conserver les routes et les ponts gelés pendant plus longtemps. Il est possible d'utiliser des canons portables, dont le prix varie entre 8 000 \$ et 50 000 \$. Le plus grand inconvénient de cette méthode est qu'elle nécessite de grandes quantités d'eau des lacs ou cours d'eau locaux; on estime que 550 L d'eau sont nécessaires pour un mètre cube de neige non compacte (Mountain View Technologies, Inc., 2008).

Séchage des billes

Ni la moisissure ni les spores des champignons responsables du bleuissement ne peuvent croître ou germer sur du bois à moins de 19 % de teneur en humidité à moins que l'humidité relative ne soit très élevée (plus de 90 %) et soutenue pendant des jours ou des semaines. Dans plusieurs pays, il n'est pas rare d'écorcer les billes pour éliminer les infestations de scolytes et pour augmenter le taux de séchage. Écorcer et sécher la bille rapidement peut éviter les taches, mais ces méthodes sont difficiles à mettre en œuvre et peuvent entraîner de nombreuses gerces. Si les billes sont séchées trop lentement, surtout dans des températures chaudes à humidité élevée ou fortes précipitations, il est possible de voir les conditions idéales de développement des champignons responsables de caries et de taches.

Entreposage dans une atmosphère moins riche en oxygène

Les champignons responsables du bleuissement sont des organismes aérobies et, s'ils peuvent survivre de 1 à 6 mois sans oxygène, ils en ont besoin pour se développer. La réduction de l'oxygène doit être importante (moins de 0,3 % dans les essais en laboratoire) pour arrêter leur croissance (Scheffer, 1986). Il existe deux façons possibles de réduire l'oxygène : l'entreposage humide où l'eau remplace l'oxygène dans le bois, et l'entreposage dans un environnement enrichi en CO₂. Toutes deux réduisent les niveaux d'oxygène disponibles par des facteurs tels que le lessivage de nutriments, la compétition et l'antibiose d'autres microorganismes pendant l'entreposage sous l'eau. La toxicité du CO₂ peut contribuer à réduire les taches dans un entreposage enrichi en CO₂.



Stockage en bassin de billes de pruche en Colombie-Britannique.



Arrosage constant des billes avec de l'eau recyclée de bassins créés artificiellement.

Entreposage sous l'eau

L'entreposage sous l'eau peut prendre la forme d'une immersion des billes dans des plans d'eau (stockage en bassin) ou d'un arrosage constant. L'entreposage en rivière ou en estuaire est courant en Colombie-Britannique : il s'agit d'une façon pratique d'éviter la dégradation du bois par les champignons et les insectes, mais elle n'est efficace que lorsque toutes les billes sont complètement mouillées. Les billes sur le dessus des allingues ou les paquets qui restent immergés en partie peuvent subir une importante dégradation. Les billes en bassin doivent être retournées régulièrement pour éviter que les parties non immergées ne sèchent. Les billes entreposées dans des grands lacs ou estuaires sont souvent humidifiées par la seule action des vagues. Les allingues amarrées près de forêts peuvent être gravement infestées par le scolyte du bois (McLean, 1985). Ce ravageur est également porteur des champignons responsables du bleuissement, mais la croissance de la tache se limite généralement à un cercle autour des galeries du scolyte et les champignons ne colonisent pas le reste de l'aubier. Pendant le stockage en bassin, le bois fondrier peut être perdu, la saturation ayant rendu la densité à l'état vert supérieure à celle de l'eau environnante. Les eaux courantes fraîches sont plus efficaces que les eaux stagnantes, qui ont tendance à favoriser la croissance des bactéries. Dans la plupart des pays, l'entreposage sous l'eau est extrêmement réglementé et restreint en raison de préoccupations environnementales telles que la lixiviation des produits d'extraction du bois et l'accumulation de débris d'écorce.

L'arrosage constant des billes avec recyclage de l'eau est possible lorsque le stockage en bassin n'est pas faisable. On utilise régulièrement cette méthode sur les plate-formes de billes de feuillus l'été dans l'Est du Canada et dans l'Ouest des États-Unis (pour les résineux) ainsi que pour le bois déraciné par le vent après des catastrophes naturelles (Webber et Gibbs, 1996). Pendant les saisons critiques (lorsque les températures dépassent les 4°C), l'entreposage sous gicleurs automatiques doit être minutieux et les surfaces saturées, surtout les extrémités des billes, pour être efficace. Un grand volume d'eau peut s'avérer nécessaire (au moins 12 mm/heure). Selon une étude suédoise, les niveaux minimaux d'arrosage par gicleurs automatiques pour conserver la teneur en humidité du bois de résineux varient entre 25 et 33 mm par période de 24 heures, alors que les intensités d'arrosage par gicleurs plus élevées varient entre 40 et 100 mm par période de 24 heures (Liukko, 1997).



Représentation schématique de billes entreposées et enveloppées d'une couche simple ou double de plastique résistant aux UV à résistance à la diffusion élevée. Dans cet environnement relativement hermétique, le taux de CO_2 peut atteindre 40 %.

Entreposage dans une atmosphère enrichie en CO_2

L'entreposage dans une atmosphère enrichie en dioxyde de carbone (CO_2) est également utilisé, mais s'il est, à ce que l'on dit, commercialisé et breveté en Allemagne, il n'est que peu utilisé en Amérique du Nord (Mahler et coll., 1997; McKee et Daniel, 1966; Feist et coll., 1971; Amburgey, 1979). Pour ce faire, il faut envelopper et sceller les billes immédiatement après la récolte dans une double couche de feuille de polyéthylène pour que le taux de CO_2 augmente par respiration microbienne et soit compris entre 20 % et 40 %. La décomposition des hemicelluloses et des sucres par fermentation génère également davantage de CO_2 , ce qui réduit les niveaux d'oxygène à moins de 0,1 % après 3 à 10 jours. Les études mentionnées dans le brevet indiquent que peu ou pas d'insectes, de taches ou de caries ont été trouvés dans le bois après quatre ans. On ne connaît pas l'efficacité de cette méthode visant à arrêter la croissance des taches dans les billes préinfestées, ni la faisabilité de cette méthode pour l'industrie nord-américaine des produits ligneux.



Tête d'abatteuse (à gauche), débris d'écorce coincés entre les pointes du rouleau (ci-dessus).



Domages visibles à la surface des billes résultant de l'utilisation d'abatteuses (à gauche), colonies de champignons poussant sur la sciure d'écorce et de bois (à droite).



Indentations dans le bois accompagnées de débris de bois et d'écorce inoculés et de la croissance de champignons correspondante.



Trous dans une planche accompagnés de taches et de caries. Ils résultent de dégâts provoqués par les rouleaux de l'abatteuse sur l'extérieur des billes abattues. Les trous exposent l'intérieur du bois aux champignons présents dans les débris d'écorce, de bois et de feuilles.



Différents modèles de rouleaux d'abatteuses, les chaînes sur le caoutchouc entraînent moins de dégâts que les pointes.

Prévention et atténuation des dommages mécaniques

Les arbres abattus et transformés manuellement à la scie à chaîne subissent peu de dommages liés au bleuissement tant que l'écorce reste intacte et que les billes n'ont pas été infestées par les insectes. En revanche, on a remarqué que les moissonneuses d'arbres jouent un rôle dans l'inoculation du champignon destructeur du bois dans les billes de conifères récemment abattues (Uzunovic et coll., 2004). Les machines utilisées dans les exploitations forestières endommagent l'extérieur des billes récemment abattues : elles relâchent et retirent l'écorce, produisent des crevasses et des indentations pouvant faire plusieurs centimètres de profondeur. Certains dommages sont visibles, mais d'autres peuvent ne pas être évidents. L'association entre la meurtrissure de l'écorce causée par la mécanisation forestière (surtout par les moissonneuses) et le bleuissement (Lee et Gibbs, 1996) est claire. Les billes endommagées sont vulnérables à des infestations par différents champignons lignicoles. Dans la mesure où les insectes et les éclaboussures d'eau constituent les principaux modes de transmission du bleuissement, toute attaque à l'intégrité de l'écorce exposant le phloème et l'aubier peut suffire à servir d'entrée pour les champignons responsables du bleuissement. Pour réduire les meurtrissures de l'écorce et les dommages au bois, certaines entreprises ont envisagé de changer ou de régler l'équipement mécanique (par exemple, d'utiliser moins de rouleaux d'entraînement ou de régler la pression). Cependant, même lorsqu'on utilise des rouleaux plus doux, les dommages peuvent atteindre jusqu'à la moitié de la couverture de l'écorce, surtout au début de l'été lorsque la couche de cambium est active et que l'écorce s'arrache facilement. Si les meurtrissures de l'écorce sont peu nombreuses (de 0 % à 10 %), la quantité de taches de bleuissement peut être minime, mais en pratique, ce faible niveau de dommage est difficile à obtenir.



Mise en place de pièges à insectes; le détail présente des ampoules remplies de phéromones visant à attirer les insectes ciblés.



Programme de piégeage des insectes dans un parc à billes.

Protection contre les insectes vecteurs

Plusieurs insectes visitent et se nourrissent de la même matière ligneuse que celle dans laquelle on trouve fréquemment d'autres microorganismes, et s'y reproduisent. Les champignons ophiostomatoïdes s'adaptent bien à la dispersion par arthropodes (Malloch et Blackwell, 1993). Les spores sexuées comme asexuées sont recouvertes d'une matière adhésive ou visqueuse qui les aide à adhérer aux insectes. La forme des ascospores leur permet d'avoir plusieurs points de contact avec le corps de l'insecte et de se disperser facilement dans la résine, mais pas dans l'eau (Whitney et Blauel, 1972). Les spores des champignons responsables du bleuissement peuvent être transportées à la fois dans le tractus intestinal et à l'extérieur des insectes. De nombreux insectes infestant le bois peuvent jouer un rôle dans la dissémination de champignons responsables du bleuissement.

Il existe également des associations particulières et souvent complexes entre les insectes et les champignons. Les relations les plus établies existent entre l'écorce et les scolytes du bois, et les champignons responsables du bleuissement. Pendant l'évolution du mutualisme insecte-champignon, certains insectes (surtout les scolytes phytophages et mycophages) ont développé des structures spéciales de transport des spores que l'on appelle mycangia (Batra, 1963). Les associations de scolytes et champignons se limitent rarement à un champignon par espèce de scolyte, et on peut souvent trouver deux ou plusieurs espèces de champignons par scolyte. Les scolytes qui attaquent les arbres transportent fréquemment les champignons les plus pathogènes, ils ont donc fait l'objet d'études plus approfondies que ceux qui attaquent les arbres affaiblis. Cependant, dans la mesure où les scolytes participant à la deuxième attaque infesteraient plus souvent les billes ou les arbres morts, ils peuvent être associés à des espèces fongiques responsables de taches significatives.

Les recherches continues dans le domaine des substances sémiologiques (substances chimiques porteuses de messages comprenant les phéromones, les kairomones et les allomones) annoncent une nouvelle dimension dans la protection contre les taches. Ces substances sont utilisées avec succès depuis 1981 dans des pièges appâtés pour piéger des scolytes du bois de façon massive (Borden, 1995; Lindgren et Fraser, 1994). Ce piégeage de masse des scolytes du bois pose un défi. On a étudié des combinaisons de substances sémiologiques attirant plusieurs espèces de scolytes de type Ips ou Dendroctonus ainsi que de grands perce-bois et on les a transformées en programmes de piégeage rentables (Allison et coll., 2004). Dans certains cas, on peut utiliser des répulsifs sémiologiques pour



Ébranchage. Cette étape n'est pas effectuée dans la méthode du séchage biologique, où les arbres sont entreposés avec leurs branches pendant 1 à 2 mois après la récolte.

protéger le bois d'œuvre entreposé. La documentation portant sur les relations entre insectes et champignons est de plus en plus importante, ainsi que la compréhension du processus de coloration par certains champignons. Avec des connaissances suffisantes, il sera possible d'élaborer un programme de piégeage sur mesure visant les insectes vecteurs pour protéger le bois contre les taches. Même si la technologie sémiochimique est toujours au stade expérimental, il est probable que sa mise en place deviendra une part importante de la gestion intégrée du bleuissement.

Réduction des nutriments fongiques au moyen du séchage biologique

Séchage biologique est la traduction directe d'un terme emprunté aux langues nordiques (Faeste et Johansson, 1982) et décrit la méthode dans laquelle les arbres sont abattus mais l'ébranchage reporté. Cette méthode a été utilisée dans plusieurs pays pour produire un bois plus sec. On la connaît également sous les noms de séchage par transpiration, séchage des feuilles (qui vient du japonais « hagarashi »); tronçonnage, transformation ou ébranchage retardé; séchage physiologique et abattage d'été (McMinn, 1986a et McMinn 1986b; Visser, 1985; Ratajczak, 1973; Hartwig et Visser, 1982; Hakkila et coll., 1970; Patterson et Post, 1980; Garrett, 1985; Sachsse et Oliver-Villanueva, 1991). Généralement, les champignons responsables des taches exploitent efficacement et rapidement l'aubier humide, frais et riche en nutriments au moyen d'aliments simples stockés et mobiles (Fleet et coll., 2001). Les scientifiques sont partis du principe que la modification du substrat par la réduction de la teneur en humidité ou des niveaux de nutriments peut réduire le bleuissement (rapport non publié de Forintek). Il est possible de réduire les éléments nutritifs et l'humidité si l'ébranchage est reporté, les feuilles laissées sur l'arbre après l'abattage et si la respiration et la transpiration passive peuvent s'effectuer. L'ébranchage retardé peut entraîner une réduction de la teneur en humidité due aux intempéries par rapport à celle des arbres qui sont ébranchés juste après l'abattage. Bien qu'on ait remarqué une diminution du bleuissement dans les arbres lorsqu'on utilise la méthode du séchage biologique, le séchage est généralement la raison invoquée pour utiliser cette méthode.

Forintek Canada Corp. a réalisé trois essais au cours desquels des arbres séchés biologiquement et des arbres ébranchés témoins ont été échantillonnés de façon destructrice pour déterminer l'importance du bleuissement après 6 à 7 ou 12 à 13 semaines d'entreposage d'été (Byrne et coll., 2001; Uzunovic et coll., 2002). Ils indiquent que le séchage biologique pourrait réduire ou éviter le bleuissement chez le pin par des mécanismes que



Arbres séchés biologiquement portant leurs branches; on remarque peu de meurtrissures de l'écorce.



Arbres ébranchés mécaniquement (témoins); on remarque beaucoup de meurtrissures de l'écorce.

nous ne comprenons pas complètement. On a observé un ralentissement de la croissance de la moisissure de surface, une réduction de la teneur en humidité et un appauvrissement de l'amidon des billes séchées biologiquement, par rapport aux billes ébranchées juste après avoir été abattues. Les arbres séchés biologiquement présentaient également moins de meurtrissures de l'écorce dans les parties supérieures de l'arbre. La réduction des taches ou leur prévention peuvent donc être attribuables à une réduction des meurtrissures de l'écorce, de la teneur en humidité ou de la teneur en éléments nutritifs dans les arbres séchés biologiquement.

Les insectes sont connus depuis longtemps comme des vecteurs des champignons responsables du bleuissement (Hartig, 1884), mais on n'a pu trouver aucun indice d'infestation par des scolytes sur les arbres séchés biologiquement. Kelsey et Joseph (1999) indiquent que, lorsque la méthode du séchage biologique est utilisée, les branches des billes contribuent à maintenir de faibles teneurs en éthanol dans les tissus des billes, ce qui attire moins les scolytes du bois. Ces auteurs pensent également que l'efficacité de cette méthode, qui laisse les branches attachées, peut varier selon les conditions de milieu. Johnson(1961) et Johnson et Zingg (1969) observent également une réduction des infestations par le scolyte du bois et du bleuissement qui longe ses galeries dans les arbres abattus lorsque les branches sont laissées sur l'arbre.

L'ébranchage retardé constitue une stratégie de réduction du bleuissement qui peut être utilisée par des entreprises utilisant des machines d'abattage et d'ébranchage séparées sur le site de récolte. Le séchage biologique est faisable lorsqu'on utilise une abatteuse-empileuse pour la première coupe et des ébrancheuses pour enlever les branches, pratiques largement utilisées à l'intérieur de la Colombie-Britannique et en Alberta.



Vaporisation d'un inoculum albinos d'un champignon responsable du bleuissement sur des billes tests.



Pour de meilleurs résultats, la vaporisation doit s'effectuer dès que possible après la récolte. En cas de retard, surtout si les billes deviennent boueuses, elles sont préinfectées et la protection biologique ne fonctionnera probablement pas.



Après la vaporisation, le champignon de coloration albinos peut prendre la forme d'une croissance poudreuse blanche sur le bois exposé dans des conditions humides et chaudes.

Protection biologique

Le concept de protection biologique d'un organisme par un autre est appliqué depuis longtemps dans le secteur agricole, mais il est plus récent en foresterie et dans l'industrie des produits forestiers. Le succès que connaît le *Bacillus thuringiensis* pour combattre plusieurs insectes forestiers ravageurs fait partie des rares exemples pratiques de bioprotection en foresterie. Parmi les autres exemples, on peut citer l'utilisation du champignon décomposeur inoffensif *Phlebiopsis gigantea* en Europe pour contrer les graves caries du pied dues au *Heterobasidion annosum*. Dans le domaine des produits ligneux, plusieurs chercheurs ont publié des articles sur la protection biologique contre les champignons responsables des taches sur le bois par des bactéries ou d'autres champignons, généralement des moisissures (Uzunovic et coll., 2002).

De nombreuses personnes ont effectué des recherches sur la protection biologique contre les champignons dans les produits ligneux, et quelques publications ont fait une revue de ce domaine (Morrell et Dawson-Andoh, 1997; Mai et coll., 2004; Uzunovic et coll., 2002 et Young; 2003). À notre connaissance, la bioprotection des produits du bois n'a pas été commercialisée mais un produit bénéficie d'une homologation temporaire au Canada et pourrait être utilisé commercialement. Voici un aperçu de l'étude canadienne.

Forintek a été parmi les premiers à étudier la protection biologique contre les taches de sève dans les billes et le bois d'œuvre depuis 1986, et a examiné plusieurs centaines d'espèces fongiques à cette fin (Seifert et coll., 1988). Parmi ces microorganismes, la moisissure *Gliocladium roseum* est l'un des antagonistes les plus étudiés (McAfee et Gignac, 1997; Yang et Rossignol, 1999). En 1988, Seifert et coll. indiquent d'abord que *G. roseum* entrave beaucoup la croissance de plusieurs champignons responsables des taches de sève en laboratoire. Un essai simulé sur le terrain montre que *G. roseum* peut protéger le bois d'œuvre pasteurisé à la vapeur de la pruche occidentale et du sapin gracieux des taches de sève (McAfee et Gignac, 1997). Des travaux ont ensuite été réalisés après cet essai pour améliorer l'efficacité de *G. roseum* contre les taches de sève sur le bois d'œuvre vert par la coapplication d'une solution basique visant à modifier le pH de la surface du bois. *G. roseum* ne réagit pas à un pH élevé, mais les champignons responsables des taches de sève sont sensibles en milieu alcalin. Cette méthode intégrée de protection des billes et du bois d'œuvre vert de résineux contre les taches de sève et la moisissure a connu du succès dans les essais en scierie et sur le terrain (Yang et coll., 2004). On a également trouvé que *G. roseum* protège les billes de feuillus de la biodégradation avant leur transformation en panneaux

(Yang et coll., 2007). Les résultats montrent bien que *G. roseum* présente du potentiel comme biopesticide commercial.

Forintek a également mis à l'essai la protection biologique des billes récemment abattues au moyen de souches albinos de champignons responsables du bleuissement (Uzunovic et coll., 2002). La société a montré qu'une souche albinos disponible sur le marché, *Ophiostoma piliferum* (Sylvanex), peut protéger efficacement les billes de pin de Murray contre les taches en colonisant l'aubier frais et en remplaçant les champignons responsables du bleuissement. En même temps, le bois conserve une couleur stable et n'est pas taché. Les essais de Forintek sur le terrain en Alberta, en Colombie-Britannique et au Québec indiquent clairement que Sylvanex peut protéger du bleuissement pendant les treize semaines que dure l'essai, s'il est appliqué sur l'extérieur de toutes les billes immédiatement après l'abattage. Un autre exemple de bioprotection efficace contre le bleuissement a récemment été apporté : il s'agit de la récupération d'une souche albinos de *Ceratocystis resinifera*, champignon responsable du bleuissement qui s'enfonce profondément dans les billes fraîches de conifères (Morin et coll., 2006). On a mis à l'essai la capacité de cette souche (Kasper) à protéger les billes d'épinettes du bleuissement causé par les champignons responsables du bleuissement. Pendant les essais en laboratoire et sur le terrain, Kasper a réduit le bleuissement des billes tests de 80 % à 94 %. L'homologation de cet organisme était en cours au moment de la rédaction du présent document.

Certains organismes de bioprotection peuvent éventuellement rendre le bois plus perméable. Ce point ne sera important que si le bois est fini et utilisé à des fins d'apparence (pour la menuiserie, par exemple).

La protection biologique implique l'utilisation de microorganismes vivants (tels que des champignons ou des bactéries antagonistes) ou l'utilisation de dérivés d'organismes vivants. La sensibilisation du public en matière de microorganismes, surtout si leur présence est évidente lorsque les produits traités arrivent chez les clients, peut entraîner des questions sur la sécurité humaine ou le risque phytosanitaire. Tout comme pour les traitements chimiques, les fournisseurs de technologie doivent donc s'occuper des implications environnementales et de sécurité pour l'homme des agents de bioprotection par le processus d'homologation. Il est possible qu'il faille s'occuper des préoccupations phytosanitaires pour les organismes vivants utilisant des produits ligneux en vertu de différents règlements. Ces lignes directrices doivent assurer qu'une technologie de bioprotection n'entraîne aucun danger excessif pendant son utilisation.

Avant qu'un produit ne soit utilisé à l'échelle industrielle, il faut prouver ses performances et sa constance. Les chercheurs de Nouvelle-Zélande, d'Europe et des É.-U. ont remarqué des incohérences entre les performances du Sylvanex qui, dans certains cas, n'a pas réussi à protéger le bois du bleuissement. Il faut donc réaliser davantage de recherches fondamentales pour comprendre les limites dans lesquelles la protection biologique peut fonctionner. Sylvanex reste un bon agent de bioprotection modèle puisqu'il s'agit du seul qui ait été homologué temporairement au Canada pour la protection des billes contre le bleuissement. Un système d'application efficace doit être créé pour distribuer uniformément l'agent sur le périmètre des billes dans le site de récolte sans interrompre le processus de récolte et entraîner des délais.



Bois bleui avant (à gauche) et après (à droite) l'avoir blanchi à l'aide d'hypochlorite de sodium.

Rectification du bleuissement par blanchiment

On a déjà essayé de blanchir le bois bleui. Les travaux de Forintek (non publiés) indiquent que des agents commerciaux de blanchiment à base d'acide oxalique, hypochlorite de sodium ou hydroxyde de sodium et peroxyde hydrogène ne suffisent pas à blanchir le bleuissement. Le fort blanchiment au moyen de peroxyde d'hydrogène chauffé n'est efficace qu'à la surface et élimine complètement la couleur du bois. Le blanchiment au peroxyde d'hydrogène chaud est également cher et dangereux. L'hypochlorite de sodium est également prometteur et réduit le bleuissement de façon importante. Cependant, le bois blanchi prend des tons verts et jaunes indésirables, reste plus foncé et perd sa couleur naturelle. Le blanchiment chimique entraîne également un jaunissement du bois de cœur et du bois non taché (Evans et coll., 2007). Puisque l'Ouest du Canada produit une grande quantité de bois d'œuvre bleui à partir de pin de Murray infesté par le dendroctone du pin ponderosa, Forintek réétudie les traitements utilisés pour éliminer ce bleuissement (en cours au moment de la rédaction du présent document).



Tache fongique brune chez le pin blanc.



Tache de sève brune présentant un modèle de croissance semblable à celui des champignons responsables du bleuissement, chez le pin tordu.



Bleuissement/tache brune chez le pin.



Tache de sève brune fongique chez le pin ponderosa.

Coloration fongique brune

Hubert (1929) mentionne que la tache trouvée dans l'aubier de plusieurs pins présente exactement la même structure que le bleuissement en profondeur mais que la couleur est bien marron foncé à chocolat. Elle est attribuée à un champignon qui n'a pas reçu de nom et agit de la même façon que le champignon responsable du bleuissement. Il s'agit principalement d'une tache de bille qui n'a pas été trouvée dans le bois d'œuvre et qui ne progresse pas dans celui-ci. Les scientifiques ont observé une souche semblable dans l'aubier du pin de Murray : le bois semble être solide et il ne s'agit pas de la première étape d'une carie. On a indiqué que l'aubier de l'épinette de Norvège et du mélèze de Sibérie en est affecté et que l'agent responsable est le *Discula brunneo-tingens* (Sphaeropsidales). Le champignon fait partie du même groupe que le *Sphaeropsis sapinea*, un agent connu du bleuissement en profondeur (Tjoelker *et coll.*, 2007). Le champignon peut entrer dans le bois par les blessures de ses branches et de sa tige.

PRÉVENTION ET RECTIFICATION

On connaît peu de choses sur ce type de tache et sur sa prévention. Il se peut que les méthodes utilisées pour protéger le bois du bleuissement en profondeur soient utiles.



Tache noire sur une bille écorcée n'ayant pas été protégée par un produit de finition protecteur.



Gros plan sur la surface présentant des taches noires.

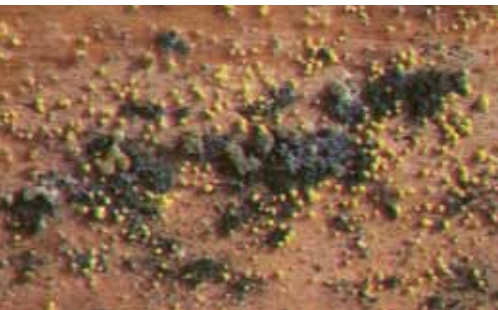
Tache en service

Coloration noire, levures noires

Ce type de tache résulte d'un champignon capable de produire à la fois des formes de levure noire très mélanisées et des hyphes. Il apparaît sur l'aubier comme sur le bois de cœur de nombreuses essences. Parmi les genres fongiques typiques, on trouve *Aureobasidium* et *Hormonema*, tous deux fréquents dans les environnements extérieurs comme intérieurs dans le monde entier. On les associe souvent à une teneur en humidité élevée et prolongée en alternance avec des périodes sèches. On les trouve sur le bois d'extérieur, fini ou non, souvent sous les finitions de surface, sur le bois humide ou en train de pourrir, ainsi que dans les zones humides en intérieur, telles que les salles de bain et les saunas. Ils prennent la forme de petites taches ou de colorations noires incrustées dans le substrat et ne présentent pas de croissance pelucheuse observable. Ils utilisent des sucres simples et des protéines sur le bois frais et les produits de dégradation de la lignine sur le bois exposé aux intempéries (Sharpe et Dickinson, 1993).

PRÉVENTION ET RECTIFICATION

Il est difficile de protéger le bois contre ces champignons, mais éviter l'exposition du bois à la pluie et à l'humidité empêchera leur croissance. Pour le bois d'extérieur, la recherche porte sur la prévention ou la protection au moyen de finitions possédant des attributs physiques particuliers, ainsi que de fongicides.



Mélange d'espèces de moisissures sous forme de masses pelucheuses et laineuses de couleur à la surface du bois.



Mélange d'espèces de moisissures poussant sur un milieu nutritif. On remarque la diffusion du pigment rouge dans le substrat, résultant des différentes espèces de moisissures.



Coloration résultant de la diffusion d'un pigment du pin rouge dans le bois, due à l'espèce *Fusarium*.



Coloration rose marbrée correspondant à un pigment produit par l'espèce *Cephalosporium* sur la pruche.

Coloration liée à la moisissure

Ce type de coloration résulte de la croissance de masses pelucheuses et laineuses à la surface du bois. On associe généralement la moisissure au bois vert ou aux différents produits ligneux qui s'humidifient en service. On trouve souvent la moisissure sur les billes entreposées dans un environnement humide, surtout sur les extrémités où l'écorce a été endommagée et le cambium ou le phloème, riches en nutriments, ont été exposés. La croissance de surface pelucheuse consiste en une trame mycéliale portant des spores et des structures produisant des spores. La couleur peut être blanche aussi bien que très foncée dans presque toutes les nuances et implique de nombreux genres et espèces de champignons. Certaines moisissures peuvent pénétrer en profondeur dans le bois, mais généralement, les hyphes incolores ne se voient pas facilement, même sous le microscope. Les colorations dues aux moisissures sont généralement plus profondes et plus difficiles à enlever. Dans les feuillus à grands vaisseaux tels que le chêne, les champignons peuvent sporuler à l'intérieur du bois.

Certains hyphes contiennent des pigments qui peuvent diffuser hors des cellules et pénétrer légèrement sous la surface du bois, et ainsi le tacher de différentes couleurs (Eaton et Hale, 1993). Par exemple : on associe la tache jaune au *Chlorociboria* et au *Cytospora*; la tache brune au *Thielaviopsis*; la moelle rouge du pin au *Cephalosporium*; le vert émeraude du chêne et du bouleau au *Chlorosplenium*; la tache rose à mauve de l'érable et du peuplier, le violet et le rose des pins au *Fusarium*; le rose des résineux au *Geotrichum*; le vert ou le rose au *Gliocladium*; le jaune au *Paecilomyces* sp. et l'orange cramoisi au *Penicillium* sp. Le *Cephalosporium fragrans* ou *C. albidus* est responsable d'une tache rouge/rose marbrée distincte chez la pruche et le Douglas taxifolié. On la trouve parfois également sur le bois d'œuvre vert.

On trouve principalement les moisissures dans l'aubier, mais on peut également les trouver dans le bois de cœur de certaines essences. Contrairement aux champignons responsables du bleuissement qui produisent des spores visqueuses, les moisissures produisent généralement des spores sèches qui sont facilement emportées par le vent. La dissémination aérienne constitue la principale forme de transmission de la moisissure. La moisissure est un problème de coloration de surface (sur les billes, le placage et autres produits ligneux) et n'affectera pas la résistance du bois. Lorsque le bois est conservé à l'état vert pendant longtemps dans des conditions humides, il se peut que des caries dues à différents champignons, des pourritures du pied ou des pourritures molles se développent et influent sur la résistance du bois.

PRÉVENTION ET RECTIFICATION

On recommande de sécher le bois pour réduire la teneur en humidité à moins de 25 % (voir la partie sur les Meilleures pratiques d'entreposage du bois d'œuvre à la page 21).

Cependant, les moisissures peuvent toujours apparaître sur le bois séché dans des conditions d'humidité élevée (au-dessus de 80 % d'humidité relative) ou en présence d'eaux de ruissellement. On recommande de conserver une humidité relative ambiante de moins de 80 % pour prévenir l'apparition de moisissures et la condensation. Des recherches sont en cours sur les antimoisissures visant à protéger le bois d'œuvre et autres produits ligneux de la moisissure, et de nouvelles formulations fonctionnent dans certains environnements. L'application en surface de produits chimiques après le sciage devrait éviter la croissance des moisissures, mais elle n'éliminera pas les colorations existantes. Le meilleur moyen de protéger le bois de l'apparition de moisissures est de contrôler le taux d'humidité : réduire l'exposition à une forte humidité; entreposer un produit dans des endroits ouverts et aérés; sécher le produit à l'air à l'aide de baguettes ou au séchoir en empêchant qu'il soit réhumidifié.

Presque toutes les colorations dues aux moisissures peuvent être éliminées au moment du rabotage de surface. Au besoin, la moisissure peut généralement être enlevée par nettoyage du bois à l'eau savonneuse, par récurage ou par lavage à pression. L'eau savonneuse donne l'agent de surface nécessaire pour neutraliser les propriétés hydrophobes que possèdent de nombreuses moisissures, ce qui leur permet d'être évacuées par le courant d'eau. Certains détergents sont plus efficaces, mais ils peuvent être légèrement abrasifs pour le bois; certains présentent des propriétés antimicrobiennes douces.



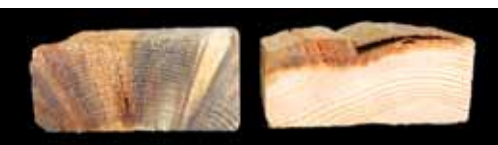
Coloration liée à la carie due aux polypores.



Coloration liée à la carie présentant des lignes de zone noires dans le peuplier faux-tremble.



Autre exemple de coloration causée par un champignon de pourriture.



Mélange de bleuissement et de coloration due à la pourriture de l'aubier.



Pourriture du cœur dans le cèdre rouge de l'Ouest.

Coloration liée aux caries

De nombreux champignons basidiomycètes, et certains ascomycètes, peuvent, dans certaines conditions, détériorer la substance ligneuse et modifier les propriétés chimiques et physiques du bois. Les champignons décomposeurs peuvent coloniser les arbres sur pied, les billes ou les produits ligneux humides entreposés ou en service. Leur croissance et leur capacité à causer des caries et les taches correspondantes peuvent être très différentes. L'aubier est la partie la plus vulnérable aux caries, et le bois de cœur des essences naturellement durables est la moins vulnérable. Les premiers et les derniers stades de la carie peuvent être rattachés à une modification de la couleur du bois qui devient plus évidente à mesure que le processus de dégradation évolue. Au début, les champignons ne sont pas facilement visibles, même au microscope, et peuvent apparaître peu à peu sous la forme d'une croissance mycélienne cotonneuse jaune pâle ou blanche, parfois accompagnée d'une coloration du bois alentour. Les infestations par les **champignons de pourriture blanche** apparaissent généralement sous la forme de zones légèrement blanchies parfois entourées de cernes noirs. Les **champignons de pourriture brune**, aux premiers stades, foncent légèrement le bois. En pratique, il est souvent difficile de poser un diagnostic de carie naissante aux taches correspondantes. Aux derniers stades de la carie, les champignons de pourriture blanche donnent au bois une apparence blanchie. Avec le temps, les champignons de pourriture brune rendent le bois souple, d'apparence marron et suivant un motif de crevasses cubiques. À ce stade, il est possible de trouver des fructifications (polypores, champignons), ce qui indique clairement la présence de carie.

Les caries ont besoin de temps pour se développer. Même lorsque l'infestation fongique a déjà eu lieu, il est généralement impossible de voir la dégradation des billes avant l'abattage et leur transformation à moins qu'elles ne soient mal entreposées ou qu'elles soient entreposées pendant longtemps. À ce moment-là, d'autres organismes responsables de taches biologiques auront également colonisé le bois. On trouve également des pourritures du pied dans les arbres sur pied, surtout chez les arbres plus âgés. Certains arbres présentent des colorations de cœur qui peuvent correspondre au stade précoce (naissant) de pourriture de cœur. Le **cœur rouge**, ou **rougissement**, est un terme utilisé pour décrire un complexe de champignons basidiomycètes qui colore souvent le bois de cœur du pin de Murray et a été étudié par Burdick *et coll.* en 1996. La tache est un symptôme de pourriture naissante qui progresse lentement dans l'arbre sur pied. À un stade plus avancé, le cœur rouge devient une carie du cœur, mais ce phénomène n'arrive pas souvent, on le trouve généralement dans moins de 7 % des arbres présentant un rougissement, selon une étude non publiée du Western Forest Products Laboratory.

PRÉVENTION ET RECTIFICATION

Les caries ont généralement besoin d'une teneur en humidité supérieure à 27 % (sur la base du poids anhydre); donc, si le bois peut être séché et conservé sous cette barre, la possibilité de formation de caries est très faible. Le bois très humide, tel que les billes entreposées sous l'eau, est également moins sujet aux caries. Les produits d'imprégnation chimiques et certains produits de protection contre les taches de sève peuvent ralentir ou arrêter la croissance des caries dans le bois d'œuvre. Il vaut mieux effectuer le traitement de préservation peu après le sciage dans la mesure où les produits d'imprégnation ne peuvent généralement pas arrêter la formation des caries déjà existantes sous la surface traitée. Il faut suivre les instructions de l'étiquette d'enregistrement au moment d'utiliser les produits d'imprégnation. L'utilisation de chaleur ou de produits chimiques diffusables tels que des borates arrêtera souvent les caries internes.



Les colorations bactériennes peuvent ne pas être évidentes avant l'application de la finition du bois. La zone touchée absorbera davantage de produit de finition et créera une plus grande tache saturée.

Coloration bactérienne

On trouve fréquemment des bactéries dans les billes, mais le bois n'est pas toujours taché. Dans des conditions d'humidité pendant des périodes prolongées, les bactéries peuvent se développer en grand nombre et affecter le bois. Le nombre de bactéries peut être jusqu'à 80 fois plus élevé dans les billes entreposées sous l'eau que dans les billes vertes fraîches (Powell et Eaton, 1993). Normalement, l'activité des bactéries est plus importante autour des ponctuations aréolées, ce qui augmente la perméabilité du bois. Les taches bactériennes peuvent ne pas être visibles au début et apparaître plus tard sous la forme de traînées dans les produits lorsque l'on utilise des finitions telles que des teintures pour le bois et que les zones touchées présentent une augmentation de l'absorption du produit de finition (Daniel *et coll.*, 1993). On a trouvé que les taches brunes permanentes à la surface des billes de pin de Monterey entreposées sous l'eau étaient des composants tanniques dérivés de la dégradation, par les bactéries, de glycosides-flavonoïdes qui s'oxydent et se concentrent à la surface pendant le séchage (Hedley et Meder, 1992). Certains conifères et feuillus possèdent des poches humides dont la teneur en humidité est anormalement élevée dans l'arbre vivant et représentent un défi pendant le processus de séchage. On associe ces poches humides aux bactéries (Powell et Eaton, 1993; Webber et Gibbs, 1996) et souvent à l'entreposage sous l'eau. Il peut prendre la forme de taches translucides et aqueuses, souvent accompagnées d'une odeur aigre ou rance.

PRÉVENTION ET RECTIFICATION

Réduire la teneur en humidité du bois contribue à empêcher la croissance des microorganismes. On ne peut pas faire grand chose pour les dégâts bactériens se produisant au stade de bille. Les billes doivent être transformées aussi rapidement que possible.

Colorations inhabituelles

Cette partie couvre quelques exemples de colorations inhabituelles mais caractéristiques. Les causes de certaines sont connues, d'autres restent inexplicables.



*Stries vertes suivant des cernes annuels
chez le Douglas taxifolié.*

Traînées vertes chez le Douglas taxifolié

On peut parfois voir des traînées jaunes ou vertes distinctes chez le Douglas taxifolié de Colombie-Britannique, près des cernes de croissance. Les analyses ne montrent aucun signe de croissance fongique, et l'analyse par fluorescence aux rayons X ne montre aucune pointe de métal. À fort grossissement, certaines trachéides des cernes colorés semblent avoir des dépôts granulaires distincts jaune serin vif sur les parois de leurs cellules, plus nombreux dans le bois final. Cette substance jaune est probablement de la quercétine flavonoïde, produit d'extraction phénolique que l'on peut trouver chez le Douglas taxifolié, surtout dans l'écorce et le bois de cœur. Ces traînées n'apparaissent que dans certaines parties de certains échantillons de bois, répartition apparemment liée à la distribution du produit d'extraction dihydroquercétine, hypothèse formulée par Gardner (1960). La formation de la quercétine jaune est stimulée par la chaleur et peut être exacerbée par des conditions basiques telles que celles liées à certains traitements du bois. Cette coloration se retrouve généralement dans la catégorie des « taches enzymatiques ». Une coloration brune de l'aubier du Douglas taxifolié, lui étant peut-être liée, est causée, au moins en partie, par des enzymes dans l'aubier (Laver et Musbah, 1996). Troughton et Chow (1973) expliquent que les produits d'extraction du Douglas taxifolié contribuent de façon importante à la modification d'intensité de la couleur causée par la chaleur, puisque la dihydroquercétine produit un chromophore distinct lorsqu'elle est chauffée. Cette information en est encore au stade préliminaire et cette coloration particulière doit faire l'objet d'autres études.



Tache noire du bois de cœur du cèdre jaune.



Marques de crayon noir correspondant à la tache du bois de cœur du cèdre jaune.



Image au microscope d'hyphes fongiques passant à travers les parois des trachéïdes, que l'on peut voir dans le bois du cèdre jaune touché par une coloration noire.

Tache noire du bois de cœur du cèdre jaune

Cette tache ressemble à d'épaisses marques de crayon à la limite entre l'aubier et le bois de cœur chez le cèdre jaune. Grossie de 400 et 1 000 fois à l'aide d'un microscope optique, elle révèle des hyphes fongiques caractéristiques à pigmentation noire et à paroi rugueuse passant à travers les trachéïdes en lignes droites (Smith, 1970). Les hyphes pénètrent dans les parois de façon mécanique en sortant un organe pénétrant qui se rétracte une fois de l'autre côté de la paroi, ressemblant aux champignons responsables du bleuissement sous le microscope. Certains hyphes suivent également les trachéïdes sur leur longueur.

Plusieurs auteurs ont mentionné cette tache (Smith, 1970; Smith et Cserjesi, 1970), mais le champignon n'a pas été identifié par manque de sporulation dans les cultures pures. Plus récemment, McDonald *et coll.* (1997), Green *et coll.* (2002) et Morales-Ramos *et coll.* (2003) ont étudié les effets du champignon sur la résistance et les propriétés naturelles du cèdre jaune, un résineux durable comme le cèdre rouge de l'Ouest. Le champignon s'établit dans les arbres sur pied où il entre par les blessures ou les cicatrices des branches (Smith, 1970). On a également indiqué qu'un sîrex était un vecteur possible (Morales-Ramos *et coll.*, 2003). Le modèle de croissance ressemble à celui des champignons responsables du bleuissement, bien que ce champignon semble croître dans le bois de cœur, contrairement aux champignons responsables du bleuissement qui ne se développent que dans l'aubier. Tout comme les champignons responsables du bleuissement, ce champignon ne détruit pas la substance ligneuse et n'a que peu d'effets sur la structure du bois. Toutefois, on a remarqué qu'il est capable de dégrader chimiquement certains produits d'extraction naturels de l'arbre dont on sait qu'ils contribuent à la grande durabilité naturelle du cèdre jaune. Ainsi, les zones tachées du cèdre peuvent présenter une résistance plus faible à la carie du bois et ne doivent donc pas être utilisées à des fins exigeant une grande résistance à la dégradation (s'il doit être en contact avec le sol, par exemple).



Taches en service observées sur les bardages de cèdre de cette maison où l'absence de coloration suit le motif des colombages et est également remarquable sous les porte-à-faux.

Photo reproduite avec la permission de Rob Charney.

Colorations fongiques inhabituelles sur les bardages de cèdre suivant le motif des colombages

Cette tache est de nature biologique et entre dans la catégorie « tache en service ». Elle résulte de champignons (levures) responsables des taches noires des genres *Aureobasidium* et *Hormonema* qui poussent sur la peinture de bâtiments extérieurs. Généralement, la pluie est une source d'inoculum et, dans la maison illustrée à gauche, le motif de la tache suit le motif laissé par la pluie, à savoir que le bois est peu taché immédiatement sous les porte-à-faux. Le champignon vit des produits de lignine dégradés par les UV où l'exposition du soleil est également plus faible. La tache, quant à elle, est plus importante dans les parties du bâtiment qui reçoivent la lumière du soleil la plus directe. Si la finition extérieure (teinture/produit d'imprégnation) contient des huiles, notamment de l'huile de lin, elle peut constituer de la nourriture supplémentaire pour les champignons. Dans cet exemple, le motif de coloration suit le motif des colombages ou des fourrures et des cavités derrière les colombages. Les champignons responsables des colorations noires se développent probablement sous le revêtement de finition dans les zones où l'humidité venant de l'intérieur se condense dans le bardage de bois. Ainsi, il n'est pas présent là où les colombages bloquent l'évacuation de l'humidité. D'un autre côté, les colombages peuvent se lier thermiquement et créer des zones de bardage plus chaudes que les zones entre les colombages, alors que l'isolation des murs entre les colombages empêche le réchauffement de la surface extérieure au moyen de la chaleur provenant de l'intérieur du bâtiment (Feist, 1984). Lorsque l'air humide touche le bardage, il le refroidit et peut y déposer de l'humidité. On peut parfois trouver des motifs semblables sur les portes de garage lorsqu'aucun pare-vapeur n'a été installé dans le mur séparant la maison du garage. L'air chaud et humide entre dans le garage, se refroidit et l'eau se condense sur la surface la plus froide, généralement la porte du garage.



Photo reproduite avec la permission de Les Jozsa.

Exemple inhabituel de bois altéré par les intempéries

Cette guêpe jaune retire les fibres de bois gris et altéré par les intempéries de la surface pour les utiliser comme « mur » de son nid, et expose le bois brut en-dessous. Cela crée des traînées marron doré à la surface du bois.



Pare-vent – Traînées de résine chez le Douglas taxifolié.



Traînée noire dans le pin tordu associée à la résine d'une blessure.



Traînée de résine chez le cèdre.

Tache de résine

Ces photographies présentent des colorations foncées caractéristiques dues à la résine associée aux blessures ou autres dommages à l'intérieur de l'arbre vivant.



Traînée de résine dans le pin tordu résultant d'une blessure de l'arbre.



Coloration orange de résine liée à une cicatrice dans l'arbre.

Remerciements

FP Innovations – Division Forintek souhaite remercier ses membres du secteur privé, Ressources naturelles Canada (Service canadien des forêts), et les provinces de la Colombie-Britannique, de l'Alberta, de la Saskatchewan, du Manitoba, de l'Ontario, du Québec, de la Nouvelle-Écosse, du Nouveau-Brunswick et de Terre-Neuve-et-Labrador ainsi que le gouvernement du Yukon pour leurs conseils et l'appui financier qu'ils ont apportés à ces recherches.

Des parties de ce texte ont été originalement publiées par la Forest Products Society dans les travaux du congrès Wood Protection 2006.

Les auteurs remercient Ben Dawson-Andoh (West Virginia University) et Terry Amburgey et Shane Kitchens (Mississippi State University) pour avoir assuré la révision critique du contenu du présent document et pour avoir apporté des commentaires et des ajouts utiles au texte.

Merci à Kelley Stewart et à Sue Rollinson pour la conception et les illustrations de ce livre.

Bibliographie

- Allison, J.D., J.H. Borden et S.J. Seybold. 2004. A review of chemical ecology of the *Cerambycidae* (Coleoptera). *Chemoecology* 14(3-4):123-150.
- Amburgey, T.L. 1979. Minimizing degrade in wood inventories. *Southern Lumberman* 238(2945): 13-15.
- Avramidis, S., S. Ellis et J. Liu. 1993. The alleviation of brown stain in hem-fir through manipulation of kiln drying schedules. *Pour prod J* 43(10):65-69.
- Barton, G.M. et J.A.F. Gardner. 1966. Brown stain formation and the phenolic extractives of western hemlock (*Tsuga heterophylla* (Raf.) Sarg.) Min. can. des forêts, Publication n°1147. 20 p.
- Barton, G.M. et B.F. MacDonald. 1971. The chemistry and utilization of western red cedar. *Serv. can. des forêts, Min. des pêches et des océans, Prod Lab Vancouver Publ No.* 1023. 31p.
- Barton, G.M. et R.S. Smith. 1971. Brown stain in kiln-dried *abies amabilis* lumber. *Min. can. des Pêches et des Océans, Notes de rech. Bimens.* 27(3):21-23.
- Batra, L.R. 1963. Ecology of ambrosia fungi and their dissemination by beetles. *Trans Kansas Acad Sci* 66:213-236.
- Borden, J.H. 1995. Development and use of semiochemicals against bark and timber beetles. Dans Armstrong, J.A. et W.G.H. Ives (Eds.). *Forest Insect Pests in Canada*. Ressources Naturelles Canada, Ottawa, ON:431-445.
- Burdick, T.E., G.D. Amman, R.G. Krebill, F.G. Hawksworth et P. Koch. 1996. Attack on lodgepole pines by fungi, mistletoe, adverse atmospheres, animals and insects. Dans Koch P. *Lodgepole Pine in North America*. 3 vols. Forest Products Society, Madison, WI:213-343.
- Byrne, A. 1998. Sapstain control in Canada: Can New Zealand learn anything from the frozen North? Dans Kreber (Ed.) *Strategies for Improving Protection of Logs and Lumber*. Proc Symposium, Forest Research Institute, Rotorua Nouvelle-Zélande, 21-22 nov. 1997. *FRI Bulletin* N°204:7-15.
- Byrne A. et D. Minchin. 2003. Log storage and hemlock brown stain. 11p. Forintek Canada Corp. Vancouver, C.-B. *Serv. Can. des For.* N°31. 11 p.
- Byrne, A., A. Uzunovic, D. Minchin et C. Breuil. 2001. A trial of "sour" felling to prevent bluestain by depletion of sapwood nutrients. Groupe de recherche international sur la préservation du bois. Stockholm, Suède. *IRG Document* N°01-10404. 11 p.
- Campbell, R.N. 1959. Fungus sapstains of hardwoods. *South Lumberman* 15 décembre 1959:115-120.
- Cane, D.A. 1990. Workshop on sticker stain and sapstain. Forintek Canada Corp. Ottawa, On. Rapport E-1968. 18 p.
- Cartwright, K.St.G. et W.P.K. Findlay. 1946. *Decay of Timber and Its Prevention*. HMSO, Londres. 294 p.
- Cassens, D.L. 2006. Sapstain in hardwood logs and lumber. FNR-90. Marketing and Utilization, Cooperative Extension Service Purdue University, West Lafayette, IN. <http://www.ces.purdue.edu/extmedia/FNR/FNR-90.html>; <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/techline/blue-stain.pdf>.
- Cech, M.Y. et F. Pfaff. 1980. Manuel de l'opérateur de séchoir à bois pour l'Est du Canada. Publication spéciale SP504F. Forintek Canada Corp., Ottawa, ON. 163 p.
- Chauret, G. et Y. Giroux. 1999. *Érable à sucre taché : essais préliminaires*. Forintek Canada Corp. Québec, QC. 14p.
- Clément, C., T. Lihra, R. Gazo et R. Beaugard. 2006. Maximizing lumber use: The effect of manufacturing defects on yield, a case study. *For Prod J* 56(1): 60-65.
- Daniel, G., T. Elowson, T. Nilsson, A. Singh et K. Liukko. 1993. Water sprinkled pine wood: A microscope study on boards showing streaking. Groupe de recherche international sur la préservation du bois, Stockholm, Suède. Document N°IRG/WP 93-10033. 14 p.
- Dowding, P. 1969. The dispersal and survival of spores of fungi causing bluestain in pine. *Trans Br Mycol Soc* 52(1):125-137.
- Eades, H.W. 1956. Sapstain and mould prevention on British Columbia softwoods. *Min. can. des Aff. du Nord et des Res. nat. For Prod Lab Div Bull* 116. Vancouver, C.-B.. 40 p.
- Eaton, R.A. et M.D.C. Hale. 1993. *Wood: Decay, Pests and Protection*. Chapman and Hall, Londres. 546 p.
- Ellis, S. et S. Avramidis. 1993. Brown stain in Pacific coast hemlock. *IAWA Journal* 14(1) 23-28.
- Encinas, O. et G. Daniel. 1995. Wood cell wall biodegradation by the blue stain fungus *Botryodiplodia theobromae* Pat. *Mat und Org* 29(4):255-272.
- Evans, P.D., G. Palmer et M. Chowdhury. 2007. Bleaching treatments for blue-stained lodgepole pine affected by the mountain pine beetle *Dendroctonus ponderosae*. *Holz Roh- Werkst* 65(6):485-486.
- Faeste, I. et K.J. Johansson. 1982. The course of drying in sour felled trees under various storage conditions. Rapport Norsk Institutt for Skogforskning N°2-82. 40 p.
- Feist, W.C. 1984. Painting and finishing wood for use outdoors. Dans *New Ideas Materials Procedures*. Travaux de la septième conférence annuelle éducative; 5-8 février 1984; Baltimore, MD. American Society of Home Inspectors, Inc. Washington, DC:A1-A2.
- Feist, W.C., E.L. Springer et G.J. Jajny. 1971. Encasing wood chip piles in plastic membranes to control chip deterioration. *Tappi* 54(7): 1140-1142.
- Fleet, C., C. Breuil et A. Uzunovic. 2001. Nutrient consumption and pigmentation of deep and surface colonizing sapstaining fungi in *Pinus contorta*. *Holzforsch* 55(4):340-345.

- Forsyth, P.G. et T.L. Amburgey. 1992. Prevention of non-microbial sapstains in southern hardwoods. For Prod J 42(3):35-40.
- Frigon, M. 2006. Snow-bound log storage. Log Saw J 37(1): 42-45.
- Gardner J.A.F. 1960. The distribution of dehydroquercitin in Douglas fir and western larch. For Prod J 10(3):171-173.
- Garrett, L.D. 1985. Delayed processing of felled trees to reduce wood moisture content. For Prod J 35(3):55-59.
- Green, D. W., K.A. McDonald, P.E. Hennon, J.W. Evans et J.H. Stevens. 2002. Flexural properties of salvaged dead yellow-cedar from southeast Alaska. For Prod J 52(1):81-88.
- Hakkila, P., P. Heikkilä et P. Michelsen. 1970. 'Leaf seasoning' in harvesting veneer birch. Metsätieteellisen tutkimuslaitoksen julkaisu 70 (2). 42 p.
- Hartig, T. 1844. *Ambrosia des Bostrychus dispar*. Allgem Forst-u Jagtzg 13:73-74.
- Hartwig, G.L.F. et J.J. Visser. 1981. *Kroondroging van Pinus radiata-boomstamme* [Crown drying of *Pinus radiata* stems]. South African For J 116:51-59.
- Hedley, M. et R. Meder. 1992. Bacterial brown stain on sawn timber cut from water-stored logs. Groupe de recherche international sur la préservation du bois. Stockholm, Suède. Document N°IRG/WP/1532-92. 9 p.
- Hrutford, B.F. et R. Luthi. 1981. Chemistry of oregonin. Dans Chemistry and Morphology of Wood and Wood Components. Symposium int. sur le bois et sur la chimie de la réduction du bois en pâte, Stockholm, Suède. Vol 1:95-96.
- Hubert, E.E. 1929. Sap stains of wood and their prevention. Rapport technique. Ministère du commerce des États-Unis, Utilisation du bois. 77 p.
- Hulme, M.A. et J.F. Thomas. 1975. Stain control in eastern white pine using ammonical zinc oxide in mill conditions. For Prod J 25(6):36-39.
- Johnson, N.E. 1961. Ambrosia beetle attacks in young growth western hemlock. Rap. de prog. bimens. Dir. de l'ent. et de la path. forestières, Forêts Canada 17(5):3.
- Johnson, N.E. et J.G. Zingg. 1969. Transpirational drying of Douglas fir: Effect on log moisture content and insect attack. J For 67 (11):816-819.
- Kelsey, R.G. et G. Joseph. 1999. Ethanol and ambrosia beetles in Douglas fir logs exposed or protected from rain. J Chem Ecol 25(12):2793-2809.
- Kitchens, S.C. et T.L. Amburgey. 2007. Appearance, cause and control of lumber discolorations. In Wood Protection 2006, H.M. Barnes (Ed.) Proc N°7229. Forest Products Society, Madison, WI:105-106.
- Knaebe, M. 2002. Blue stain. Ministère de l'agriculture et des services forestiers des États-Unis. Forest Products Laboratory techline, decay processes and bioprocessing. II-2. Issued 05/02.
- Konasewich, D.E. et O.N.C. St. Quintin. 1994. Antisapstain wood protection: recommendations for design and operation. Environment Canada et BC Environment. Ottawa ON et Victoria, C-B. 75 p.
- Kramer, P. et T.T. Kozlowski. 1979. Physiology of Woody Plants. Academic Press, New York. 811 p.
- Kreber, B. 1993. Advances in the understanding of hemlock brown stain. Mat Und Org 28(1):17-37.
- Kreber B. et A. Byrne. 1994. Discolourations of hem-fir wood: A review of the mechanisms. For Prod J 44 (5):35-42.
- Kreber, B. 1995. The role of microorganisms in the phenomenon of hemlock brown stain. Thèse de doctorat. Université de la Colombie-Britannique. 202 p.
- Kreber, B. et A. Byrne. 1996. Production of brown stain in hemlock logs during storage. For Prod J 46(4):53-58.
- Kreber, B., E.L. Schmidt et A. Byrne. 1994. Methyl bromide fumigation to control non-microbial discolourations in western hemlock and red alder. For Prod J 44(10):63-67.
- Kreber, B., A.N. Haslett et M.G.C. Norris. 1998. High air velocity and relative humidity reduce development of kiln brown stain in *Pinus radiata*. NZ J For Sci 28(3):400-407.
- Kreber, B., A.N. Haslett et A.G. McDonald. 1999. Use of sodium dithionite for controlling kiln brown stain development in radiata pine sapwood. For Prod J 49(1): 57-62.
- Laver, M.L. et D.A.A. Musbah. 1996. An enzyme extract from Douglas-fir sapwood and its relationship to brown staining. Wood Fib Sci 28 (1):2-6.
- Lee, K. et J.N. Gibbs. 1996. An investigation of the influence of harvesting practice on the development of blue-stain in Corsican pine logs. Forestry (Oxford) 69(2):129-133.
- Lindgren, B.S. et R.G. Fraser. 1994. Control of ambrosia beetle damage by mass trapping at a dryland log sorting area in British Columbia. For Chron 70(2):159-163.
- Lindgren, R.M. et T.C. Scheffer. 1939. Effect of blue stain on the penetration of liquids into air-dry southern pine wood. Proc. Ann. Wood. Pres. Assoc. 35:325-336.
- Liukko, K. 1997. Climate-adapted wet storage of sawn timber and pulpwood: An alternative method of sprinkling and its effect on freshness of roundwood and environment. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. Silvustria (Suède) N°51. 44 p.
- Mahler, G., C. Richter, M. Gross, A. Weber, T. Maier et J. König. 1997. Method for stocking and preserving green round wood and sawn timber. Technische, Universität Dresden (Mommensenstrasse 13, Dresden, 01069, DE). Brevet européen EP0946340. (<http://www.freepatentsonline.com/EP0946340B1.html>).
- Mai C, U. Kues et H. Militz. 2004. Biotechnology in the wood industry. Appl. Microbiol. Biotechnol. 63:477-494.
- Malloch, D. et M. Blackwell. 1993. Dispersal biology of the *Ophiostomatoid* fungi. Dans Wingfield, J.M., K.A. Seifert et J.F. Webber (Eds.) *Ceratocystis* and *Ophiostoma*, Taxonomy, Ecology and Pathogenicity. APS Press. Washington, DC:195-206.
- McAfee, B. et M. Gignac. 1997. Antisapstain protection of steam pasteurized hemlock and fir lumber treated with a biocide and the potential bioprotectant, *Glucoladium roseum*. Mat und Org 31(1):45-61.
- McDonald, K. A., P. E. Hennon, J. H. Stevens et D. W. Green. 1997. Mechanical properties of salvaged dead yellow-cedar in Southeast Alaska. Res Pap For Prod Lab, USDA For Serv FPL-RP-565. 9 p.
- McLean, J.A. 1985. Ambrosia beetles: A multimillion dollar degrade problem of sawlogs in coastal British Columbia. For Chron 61(4):295-298.
- McKee, J.C. et J.W. Daniel. 1966. Long-term storage of pulpwood in sealed enclosures. Tappi 49(5): 47A-450A.
- McMillan, M. et G.M. Wengert. 1978. Drying eastern hardwood lumber. Manuel Agric. N°52. USDA-Forest Service. Forest Products Lab., Madison, WI. 104 p.
- McMinn, J.W. 1986a. Transpirational drying of Piedmont hardwoods. Georgia For Res Pap N°63, 7 p.

- McMinn, J.W. 1986b. Transpirational drying of red oaks, sweetgum, and yellow poplar in the Upper Piedmont of Georgia. *For Prod J* 36(3):25-27.
- Moore, H.B., J.D. Solomon, S.J. Hanover et M.P. Levi. 1990. Lumber defects caused by insects, fungi, and chemical stains. *Ag Communications Publ AG-425*. NC State Univ. Raleigh.
- Morales-Ramos, J. A., M. G. Rojas et P. E. Hennon. 2003. Black-staining fungus effects on the natural resistance properties of Alaskan yellow cedar to the Formosan subterranean termite (*Isoptera: Rhinotermitidae*). *Environ Entomol* 32 (5):1234-1241.
- Morrell, J.J. et B.E. Dawson-Andoh. 1998; Biological Control: Panacea or Boondoggle. Dans les travaux de la réunion « Biology and Prevention of Sapstain » tenue au Delta Whistler Resort, C.-B., Canada, le 25 mai 1997. *Forest Products Society, Madison WI, Publication N°7273*. pp 39-44.
- Morin, C., P. Tanguay, C. Breuil, D.-Q. Yang et L. Bernier. 2006. Bioprotection of spruce logs against sapstain using an albino strain of *Ceratocystis resinifera*. *Phytopathol* 96 (5): 526-533.
- Mountain View Technologies, Inc. 2008. Page ouverte en ligne le 26 mars 2008. <http://www.the-snowman.com/facts.html>.
- Nader, J. 2003. Preservation of wood through storage under snow. *Advantage (FERIC)* 4(8). 4p.
- Patterson, W.A. et I.L. Post. 1980. Delayed bucking and bolewood moisture content. *J For* 78(7):407-408.
- Powell, M.A. et R.A. Eaton. 1993. Fungal defacement of water-stored softwoods. Groupe de recherche international sur la préservation du bois, Stockholm, Suède. Document N°IRG/WP 93-10009. 14 p.
- Ratajczak, Z. 1973. Effect of drying beech wood with the aid of crown suction force, and the method of stacking, on the occurrence of incipient decay and rot. *Pr Inst Tech Drewna* 20(1):43-58.
- Richmond, H. 1986. Forest entomology: From packhorse to helicopter. Rap. sur la lutte antiparasitaire n°8. Victoria, C.-B. Ministère des forêts, 1986. 44 p.
- Sachsse, H. et J.V. Oliver-Villanueva. 1991. Physiological drying and keeping windthrown beech alive. *Forstarchiv* 62(2):51-56.
- Scheffer, T.C. 1986. O2 requirements for growth and survival of wood-decaying and sapwood-staining fungi. *Can J Bot* 64:1957-1963.
- Scheffer, T.C. et R.M. Lindgren. 1940. Stains of sapwood and sapwood products and their control. *USDA Technical Bulletin N°714*, 121p.
- Seifert, K.A., C. Breuil, L. Rossignol, M. Best et J.N. Saddler. 1988. Screening for microorganisms with the potential for biological control of sapstain on unseasoned lumber. *Mat und Org* 23(2):81-95.
- Sharpe, P.R. et D.J. Dickinson. 1993. Blue stain in service on wood surface coatings. Part 3: The nutritional capability of *Aureobasidium pullulans* compared to other fungi commonly isolated from wood surface coatings. Groupe de recherche international sur la préservation du bois. Stockholm, Suède. Document N°IRG/WP 93-10035. 10 p.
- Smith, R.S. et A.J. Cserjesi. 1970. Degradation of nootkatins by fungi causing black heartwood stain in yellow cedar. *Can J Bot* 48(10):1727-1729.
- Smith, R.S. 1970. Black stain in yellow cedar heartwood. *Can J Bot* 48(10):1731-1739.
- Terazawa, M., M. Miyake et H. Okuyama. 1984. Phenolic compounds in living tissue of woods. V. Reddish orange staining in keyamahannoki (*Alnus hirsuta*) and hannoki (*A. japonica*) [*Betulaceae*] caused by the interaction of hirsutoside and catechol oxidase after cutting the woods. *Mokuzai Gakkaishi* 30(7):601-607.
- Tjoelker, M.G., A. Boratynskiand et W. Bugala. (Eds.) 2007. *Biology and Ecology of Norway spruce*. Springer-Verlag. New York. *Forestry Sciences* 78. 469 p.
- Tremblay, C. 2000. Preventing sticker-stains in sugar maple sapwood. *Forintek Canada Corp. Québec, QC. Technote TEC-92E*. 2 p.
- Troughton G.E. et S. Chow. 1973. Heat-induced colour-intensity change in coastal Douglas-fir and white spruce. *Wood Fib Sci* 4(4):259-263.
- Uzunovic, A., D. O'Callahan et B. Kreber. 2004. Mechanical tree harvesters spread fungal inoculum onto freshly felled Canadian and New Zealand pine logs. *For Prod J* 54 (11):34-40.
- Uzunovic, A. et J.F. Webber. 1998. Comparison of bluestain fungi grown in vitro and in freshly cut pine billets. *Eur J For Path* 28(5):323-334.
- Uzunovic, A., A. Byrne et D. Minchin. 2002. Alternatives to chemicals for control of bluestain in logs. *CWPA 23e réunion annuelle à Vancouver*. 22-23 octobre 2002. 13 p.
- Visser, J.J., 1985. Biological drying of *Pinus radiata* and *Eucalyptus cladocalyx* trees. *Travaux du volume 3*. Symposium on Forest Products Research International Achievements and the Future, 22-26 avril 1985, Pretoria, Afrique du Sud. Papier n°89. 15 p.
- Warren, H.V., R.E. Delavault et R.I. Irish. 1952. Preliminary studies on the biogeochemistry of iron and manganese. *Econ Geol* 47(2):131-145.
- Webber, J.F. et J.N. Gibbs. 1996. Water storage of timber: experience in Britain. *Bull Forestry Commission* 117. HMSO, Londres. 48 p.
- Wengert, G. 1998. Causes and cures for sticker stain. How to avoid various types of staining in kiln-dried lumber. http://www.woodweb.com/knowledge_base/Causes_and_cures_for_sticker_stain.html. Page ouverte le 9 janvier 2008.
- Whitney, H.S. et R.A. Blauel. 1972. Ascospore dispersion in *Ceratocystis spp.* and *Europhium clavigerum* in conifer resin. *Mycol* 64(2):410-414.
- Yang, D.Q. 2003. Biotechnology applied in wood protection: present and future trend. Dans : *Recent Research Developments in Cell Biology*. Transworld Research Network, Kerala, Inde. pp.131-144.
- Yang, D.-Q. et R. Beauregard. 2001. Sapstain development on jack pine logs in eastern Canada. *Wood Fib Sci* 33 (3):412-424.
- Yang, D.-Q., M. Gignac et M.-C. Bisson. 2004. Sawmill evaluation of a bioprotectant against moulds, stain and decay on green lumber. *For Prod J* 54(9):63-68.
- Yang, D.-Q. et L. Rossignol. 1999. Evaluation of *Gliocladium roseum* against wood-degrading fungi in vitro and on major Canadian wood species. *Biocontrol Sci and Tech* 9(3):409-420.
- Yang, D.-Q., X.-M. Wang et H. Wan. 2007. Biological protection of hardwood logs destined for panel manufacturing using *Gliocladium roseum* against biodegradation. *BioControl* 52(4):559-571.



ISSN 1917-3539